SCIENCES ET AVENIR

Sciencesetavenir.fr

© CRAWFORD/ICE ET ESPACE/PHOTOMONTAGE S&A PETER LECKHOUT

PACHACAMAC
le grand sacrifice inca
p.48

Le mystère de la matière noire
p.28

RÉVOLUTION EN COSMOLOGIE

FÉVRIER 2015 - N° 816 BELGIQUE 4.90 € / LUXEMBOURG 4.90 € / SUISSE 7.70 FS / AUTRICHE 4.90 € / GRÈCE 4.90 € / GUYANE 4.90 € / ANTILLES - RÉUNION 4.70 € / MAROC 42 MAD / TUNISIE 5.80 TND / CANADA 6.99$ CAN / ETATS-UNIS 6.99 $ US / TOM 730 XPF / TOM (AVION) 1400 XPF

M 02667 - 816 - F: 4,30 € - RD

High-tech
SPÉCIAL SENIORS p.81

* Consommation en cycle mixte de la BMW Concept X5 eDrive : **< à 3,8 l/100 km. CO_2 : < à 90 g/km.** Valeurs provisoires. Valeurs pour le modèle de série en cours d'homologation.

** Diverses technologies disponibles de série en fonction des modèles et versions.
Détail sur **www.bmw.fr/exigence**

BMW EFFICIENT**DYNAMICS.**
MOINS D'ÉMISSIONS. PLUS DE PLAISIR.

EXIGER LA COMBINAISON D'ÉNERGIES IDÉALE

POUR DES ÉMOTIONS ÉLECTRISANTES.

Pour vous, BMW a créé la technologie électrique BMW eDrive pour zéro consommation de carburant, zéro émission de CO_2 locale et un silence quasi absolu. Pièce maîtresse de la BMW i3, elle équipera également la prochaine génération de BMW hybrides où l'association à un moteur thermique offrira un compromis idéal entre usage quotidien 100 % électrique et utilisation longues distances. Première représentante de cette nouvelle génération dans les mois à venir : la BMW Concept X5 eDrive*.

TECHNOLOGIE ÉLECTRIQUE BMW eDRIVE.
Disponible sur les BMW i et les prochaines BMW hybrides.

EXIGER UN DESIGN QUI COUPE LE SOUFFLE

ET RÉDUIT LES ÉMISSIONS DE CO_2.

Perfectionner sans cesse l'aérodynamisme de nos voitures leur permet de mieux maîtriser l'air et ainsi réduire encore vos consommations et émissions de CO_2. Chaque BMW contrôle ainsi parfaitement les flux d'air, du pare-chocs avant jusqu'au feu arrière, pour qu'efficience et élégance s'accordent à l'unisson.

L'AÉRODYNAMISME BMW.
Disponible sur toutes les BMW.**

BMW EfficientDynamics

www.bmw.fr

Le plaisir de conduire

NISSAN

Innovation that excites

NOUVELLE NISSAN PULSAR.
VOTRE SIXIÈME SENS.

LA BERLINE COMPACTE À PARTIR DE
14 990 €(1) SANS CONDITION

- SYSTÈME D'ALERTE ANTI-COLLISION (2)
- AIDE AU STATIONNEMENT 4 CAMÉRAS NISSAN AVM - VISION 360° (2)
- ESPACE INTÉRIEUR EXCEPTIONNEL

(2) Équipements disponibles de série ou en option et sur certaines versions (sauf Visia).

Réservez votre essai sur nissan.fr

Innover Autrement. (1) Prix au 01/01/2015 de la Nissan PULSAR Visia DIG-T 115 après déduction de 3 800 € de remise (prolongation jusqu'au 31/03/2015 de l'offre de remise de 3 800 € valable initialement jusqu'au 31/12/2014). **Modèle présenté** : Nissan PULSAR Connect Edition DIG-T 115 avec options Phares LED avec signature lumineuse et peinture métallisée : **19 800 €** après déduction de 3 300 € de remise (prolongation jusqu'au 31/03/2015 de l'offre de remise de 3 300 € valable initialement jusqu'au 31/12/2014). Offre réservée aux particuliers, non cumulable avec d'autres offres, valable du 01/01/2015 au 31/03/2015 chez les Concessionnaires participants. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 €. RCS Versailles B 699 809 174 - Parc d'Affaires du Val Saint-Quentin - 2, rue René Caudron - CS 10213 - 78961 Voisins-le-Bretonneux Cedex.

Consommations gamme cycle mixte (l/100 km) : 3,6 - 5,1. Émissions de CO_2 (g/km) : 94 - 119.

FOR SAFER CARS
EURO NCAP
www.euroncap.com
★★★★★
TEST 2014

Transmettre l'espoir de vaincre le cancer

Léguez à l'Institut Curie, 1er centre français de recherche en cancérologie

Transmettre tout ou une partie de ses biens à l'Institut Curie, premier centre français en cancérologie, est un formidable message d'espoir pour tous ceux qui luttent contre le cancer.

En soutenant les efforts de l'Institut Curie, fondé par Marie Curie, vous effectuez un geste de générosité envers les générations futures, vous donnez aux chercheurs et médecins les moyens de prendre le cancer de vitesse et associez votre nom à ce combat pour la vie.

institutCurie

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE

www.curie.fr

Ensemble, prenons le cancer de vitesse.

Pour tout renseignement contacter Agnès Hubert Institut Curie :
26, rue d'Ulm - 75248 Paris Cedex 05 - 01 56 24 55 01 - agnes.hubert@curie.fr

institutCurie

BULLETIN DE DEMANDE D'INFORMATION à compéter à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

☐ Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.

☐ Je souhaite être contacté en toute confidentialité par votre responsable legs, donations et assurances-vie.

Vous pouvez me joindre au numéro ci-contre ▶

☐ Mme ☐ M. Nom : .....

Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

ÉDITO

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

Insaisissable matière noire

Il nous faut ici raconter de vieux souvenirs et avouer un regret. Il y a vingt ans, à l'Université catholique de Louvain, le cosmologiste James Peebles, alors détenteur de la très prestigieuse chaire Albert Einstein (1) à l'université de Princeton (États-Unis) recevait le prix Georges Lemaître. Prix créé en l'honneur du chanoine belge qui, en 1927, émit l'hypothèse selon laquelle l'Univers était né d'un « atome primitif ». Deux ans plus tard, en 1997, Peebles le remettait à son tour au Français Jean-Pierre Luminet, que les lecteurs de *Sciences et Avenir* connaissent bien pour ses écrits (2). Ils ont en effet largement contribué à faire connaître au grand public, l'éminente figure de Lemaître ainsi que ses travaux de cosmologie relativiste.

Nous avions profité de cette cérémonie pour questionner Peebles, alors célébré pour avoir proposé une certaine vision de la matière noire (« sombre et froide »), aujourd'hui mise sur la sellette, comme l'explique notre dossier *(p. 28)*. Cette matière invisible, les astrophysiciens la traquent désespérément, après avoir imaginé, rappelons-le, qu'elle pourrait faire tenir ensemble les étoiles au sein des galaxies, les galaxies au sein des amas de galaxies, les amas de galaxies au sein des superamas, etc. La matière brillante et ordinaire ne suffisant pas, à elle seule, à assurer une construction pérenne de toutes ces structures.

Interrogé sur ce qu'il y avait à retenir « d'incontestable » en cosmologie, Peebles nous avait alors répondu : *« La donnée de base est que notre univers est uniforme. Il est remarquablement morne… Sans centre ni bords, et pas très dense. Vous et moi, à côté, sommes de très fortes concentrations de matière. »* Et quand on se faisait insistante, pointant *« la présence d'étoiles, de galaxies, de structures, ce qui n'est pas si homogène »*, il coupait court : *« Ce sont des exceptions notoires à des échelles relativement petites. Cette homogénéité est même spectaculaire à grande échelle. »* Depuis, cette façon de voir a prévalu. N'aurions-nous pas dû, là est le regret, pousser le théoricien dans ses retranchements ? Quelle ne fut pas, en effet, notre surprise amusée quand des physiciens nous ont alertés sur de récents travaux, explicités ici *(p. 31)*, prenant plus qu'au sérieux l'inhomogénéité. Et dont l'une des conséquences majeures est la suppression pure et simple de la matière noire ! Quinze ans plus tôt, nous avions déjà été ébranlée en rencontrant Mordehai Milgrom en Israël, qui proposait, lui aussi, et d'une manière spectaculaire, de se débarrasser de la matière noire : en modifiant la loi de Newton. Sacrilège ? Voilà que son hypothèse *(p. 34)* revient sur le devant de la scène.

Décidément, comme le disait Peebles : *« Pour toute recherche en cours, c'est un épiphénomène inévitable que de susciter des débats intenses, comme ceux que l'on trouve aujourd'hui dans la littérature relative à la cosmologie. »* Voilà qui ne changera jamais.

@dominiqueleglu

(1) Lire aussi le hors-série n° 180 de *Sciences et Avenir* « Einstein aujourd'hui », janvier-février 2015.
(2) Lire en particulier *L'Invention du big bang »*, Points Sciences, Seuil.

SCIENCES ET AVENIR

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.00.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteurs en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Aline KINER (hors-série) - 01.55.35.56.42
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédactrices en chef adjointes
Andreina DE BEI
(photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Stéphane DESMICHELLE
(pôle digital) - 01.55.35.56.24

Direction artistique
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET
(couverture) - 01.44.88.35.51
Jean-Louis GILABERT
(directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY
(directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chefs de service
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Mathieu NOWAK (actualités, rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Adjoint au chef de service
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chefs de rubrique
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Sylvie RIOU-MILLIOT
(médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grand reporter (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Arnaud DEVILLARD (numérique, data, généraliste) - 01.55.35.56.27
Marc GOZLAN (médecine bio, généraliste) - 01.55.35.56.60
Olivier HERTEL (technologie, futur, décryptage) - 01.55.35.56.03
Sylvie ROUAT
(espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grand reporter (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs
Johan KIEKEN, Loïc CHAUVEAU, Marie-Noëlle DELABY, Pierre MIQUEL, Henri-Pierre PENEL

Assistante de rédaction
Isabelle RUDI-HOUET - 01.55.35.56.30 - irudi@sciencesetavenir.fr

Ont participé à ce numéro
J.-O. BARUCH, A. BOEHLY, L. BRASIER, F. DANINOS, J.-F. HAÏT, P. KALDY, M. VAGNER

Secrétariat de rédaction
Frank MIETTON (1re secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette
Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Illustration
Betty LAFON - 01.55.35.56.37

Photogravure Aurélien AUGER, Miloud BENTEBRIA, Jean-Luc CHYZY

Pôle digital
Erwan LECOMTE (chef de rubrique) - 01.55.35.56.56
Lise LOUMÉ (rédactrice santé) - 01.55.35.56.39
Damien HYPOLITE
(chef de projet infographie) - 01.55.35.56.23
Joël IGNASSE (rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Hugo JALINIÈRE (rédacteur santé) - 01.55.35.56.52
Morgane KERGOAT (rédactrice animaux) - 01.55.35.56.41

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (chef de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

Fabrication
Xavier LOTH (directeur de la fabrication)
Stéphanie TERREAU (chef de fabrication)

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Nathalie TRÉHIN - 01.55.35.56.13

RENSEIGNEMENTS AUX LECTEURS, VENTE AU NUMÉRO
Isabelle RUDI-HOUET 01.55.35.56.50/56.30
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris.
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

ABONNEMENTS
Tél. : 01.40.26.86.11
8, rue Jean-Antoine de Baïf, 75013 Paris
abonnements@sciencesetavenir.fr
Tarif des abonnements :
France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €. Tarifs pays étrangers sur demande.
Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

VENTES Numéro vert (réservé aux diffuseurs de Paris et aux dépôts) **0.800. 24.69.33**

PUBLICITÉ
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : - 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale : Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité : Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Directrice de clientèle et responsable Web :
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08
Assistante commerciale : Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57
Exécution : Nicolas NIRO - 01.44.88.89.26
Administration des ventes : Caroline HAHN - 01.44.88.97.58

Directeur commercial : Valéry SOURIEAU
Opérations spéciales : Joëlle HEZARD
Directeur des abonnements
Philippe MENAT - 01.44.88.35.02
assisté de Lina QUACH 34.54
Relations extérieures : France ROQUE - 01.44.88.35.79

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication :
Claude PERDRIEL
Secrétaire général : Jean-Claude Rossignol

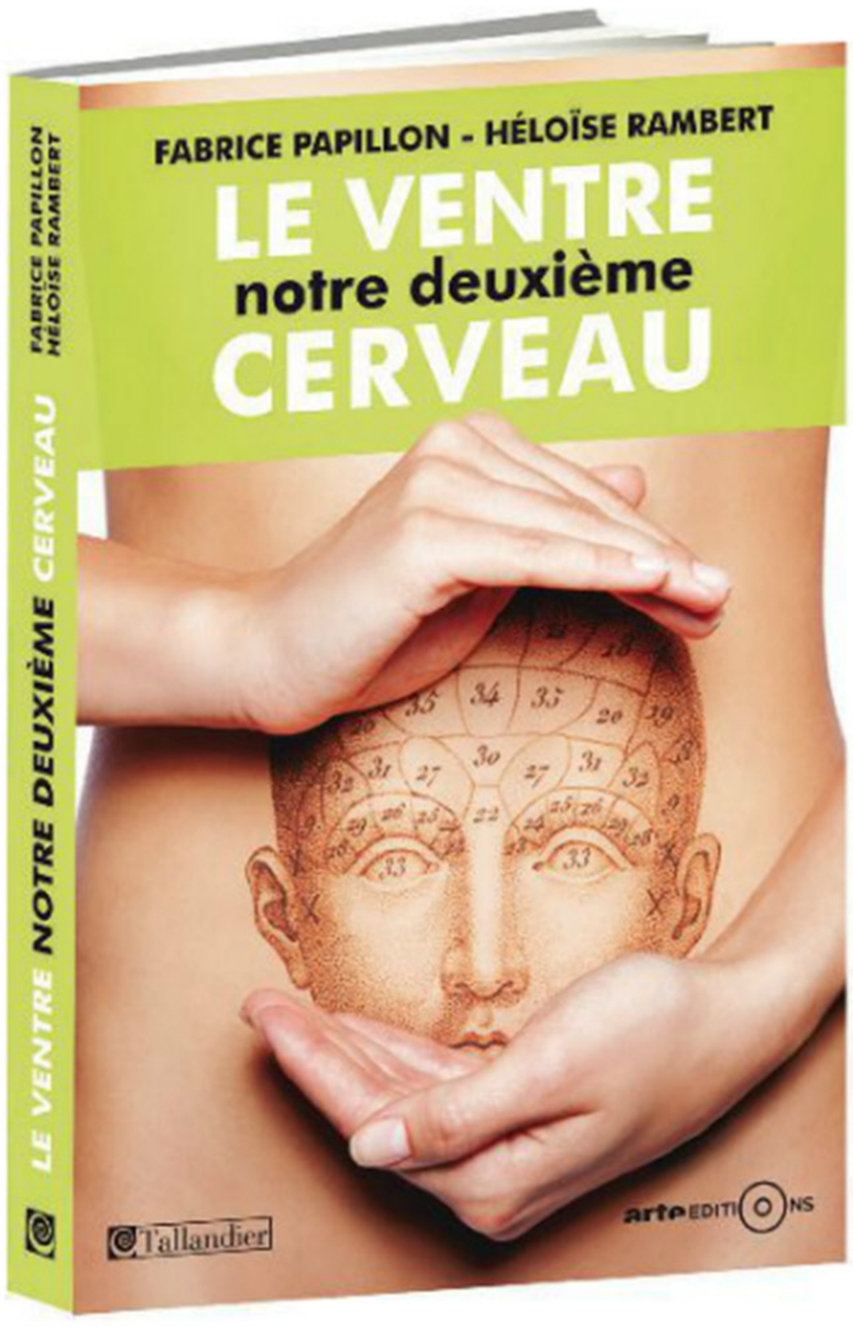
Multimédia : ID OBS, 10-12, place de la Bourse, 75002 Paris. Tél. : - 01.44.88.34.34.
Imprimerie SEGO-Tavemy. Distribution Presstalis.

OJD PRESSE PAYANTE Diffusion Certifiée 2013

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec Sciences et Avenir, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend, jetés sur couverture, un encart Atlas, un encart Linvosges et un catalogue Objets du Mois sur la totalité des abonnés et, en diffusion partielle des abonnés un catalogue Trucs et Astuces et un message Challenges Commission paritaire n° 0615 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

Sortez des sentiers battus avec

arte EDITIONS



COMMENT LE VENTRE INFLUENCE NOTRE CERVEAU

On sait désormais qu'une conversation secrète existe entre les deux cerveaux, ce qui ouvre d'immenses espoirs thérapeutiques. **Le Monde**

Notre ventre peut influencer nos émotions. **France Info**

Accessible et pédagogique. **Libération**

LE VENTRE NOTRE DEUXIÈME CERVEAU
de Fabrice Papillon et Héloïse Rambert
250 p. - Tallandier / Arte Editions

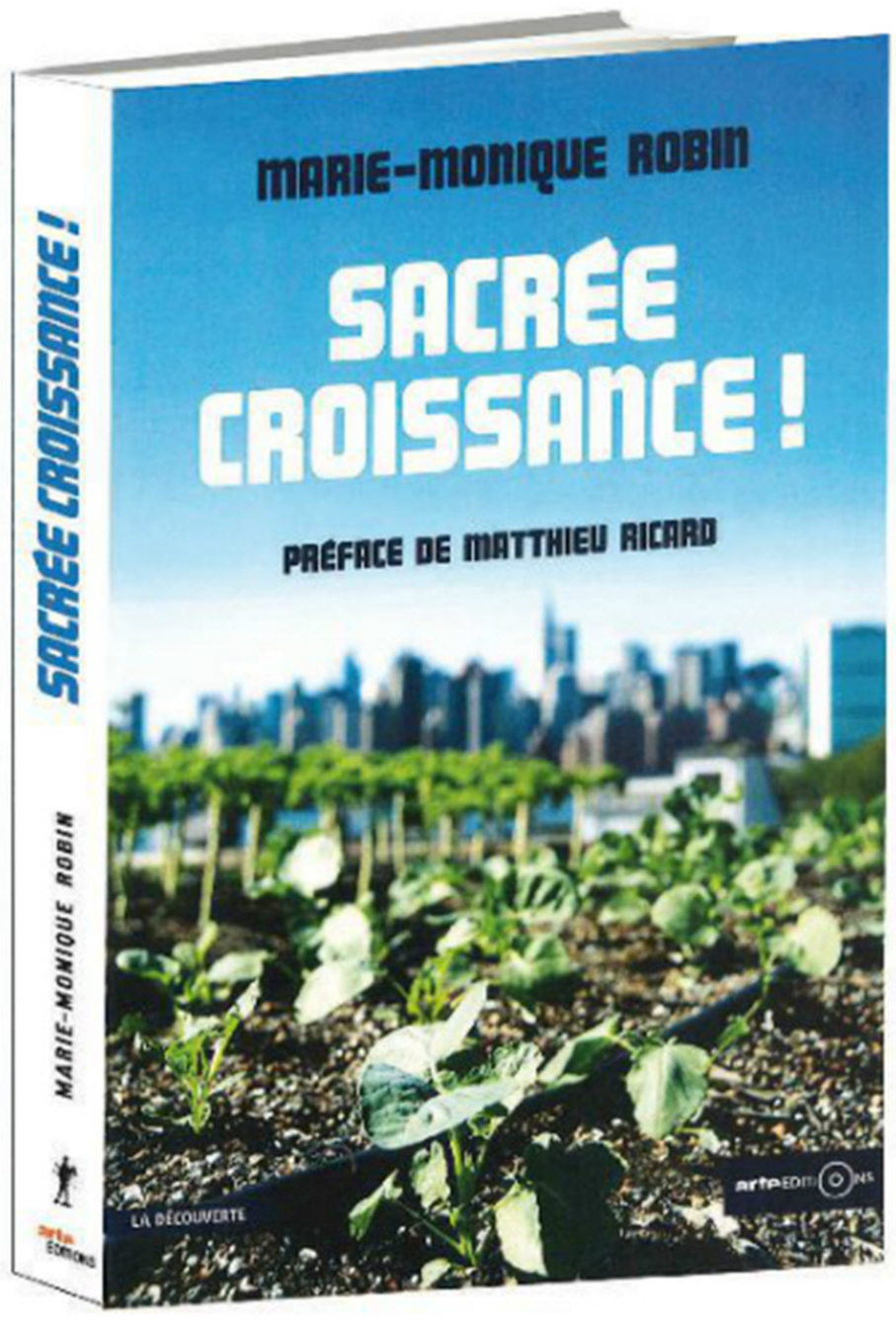
UN LIVRE QUI CROIT EN L'AVENIR

Dénoncer n'est plus suffisant, il faut proposer des alternatives.
Marie-Monique Robin

Un livre qui propose d'aller vers une harmonie durable.
Matthieu Ricard

Une enquête fouillée et réjouissante. **Libération**

SACRÉE CROISSANCE
de Marie-Monique Robin, préface de Matthieu Ricard
300 p. - La Découverte / Arte Editions

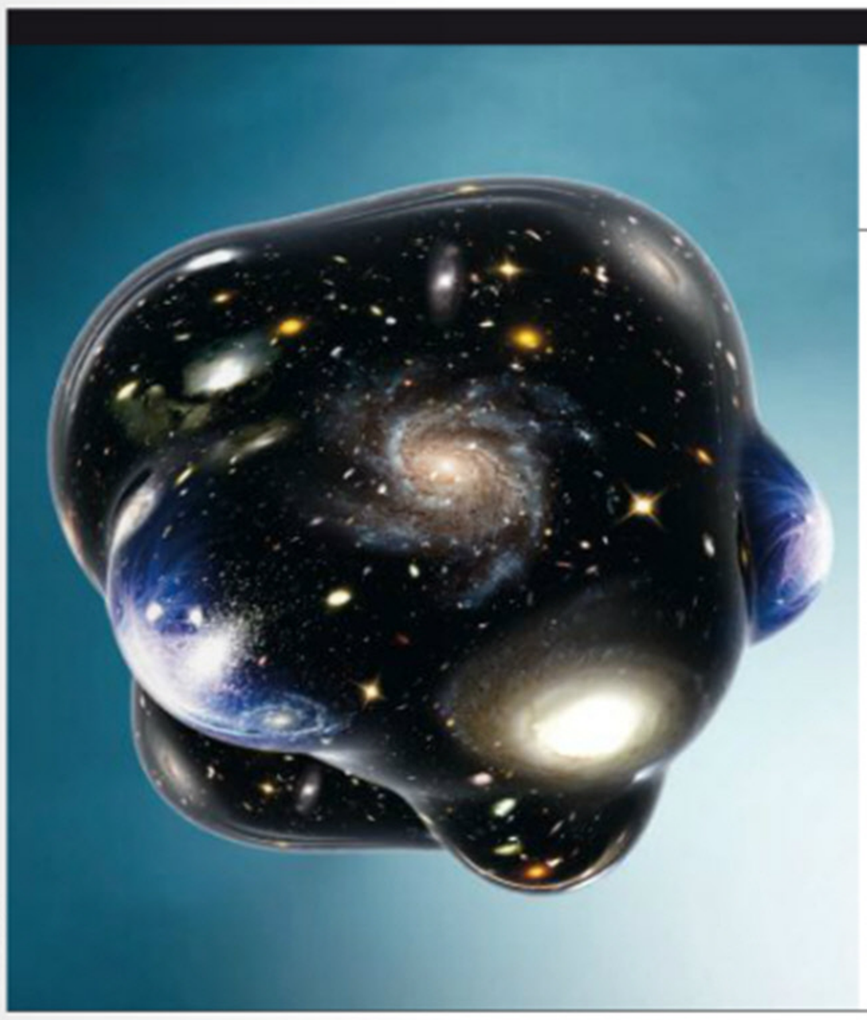


OPÉRATION SPÉCIALE SUR WWW.BOUTIQUE.ARTE.TV

FRAIS DE PORTS OFFERTS DU 26 JANVIER AU 28 FÉVRIER 2015

LE VENTRE NOTRE DEUXIÈME CERVEAU > 18€90 AU LIEU DE 26€90

SACRÉE CROISSANCE ! 19€90 AU LIEU DE 27€90


KENN BROWN

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 816 / Février 2015

DOSSIER P. 28

Le mystère de la matière noire

Alors qu'elle composerait avec l'énergie sombre 95 % de l'Univers, elle demeure introuvable. Aujourd'hui, des astrophysiciens bousculent le dogme et avancent qu'elle ne serait finalement qu'illusion.

7 Édito par Dominique Leglu

9 Courrier

ÉVÉNEMENT

12 Les grands rendez-vous en 2015

SCIENCES FONDAMENTALES

16 **ACTUALITÉS** / La Lune a eu un champ magnétique / On a simulé le cristal le plus complexe du monde/ Le LHC à la recherche de nouvelles particules

36 Ces matériaux qui se réparent tout seuls

40 Curiosity a « reniflé » du méthane sur Mars

42 Enquête cosmique sur les origines de l'eau de la Terre

46 Alan Turing, casseur de codes

47 Un détecteur d'extraterrestres

47 Livres

HISTOIRE

18 **ACTUALITÉS** / Les évadés d'Alcatraz poussés par le courant / Une tombe osirienne à Louxor/ Après les dinosaures, survint le Big Bang des oiseaux

48 Le sanctuaire sacrifié des Incas

52 Jean-Jacques Hublin, chercheur entrepreneur

54 Des perles danoises venues d'Égypte antique

55 Livres

NATURE

22 **ACTUALITÉS** / Canal du Nicaragua, une percée à haut risque/ Les loups comptent mieux que les chiens / Des macaques entraînés à se reconnaître

56 Le satellite, vigie des stocks d'eau douce

60 La bataille du chauffage au bois

63 Sur les pavés, la fortune

63 Livres

SANTÉ

24 **ACTUALITÉS** / Un implant va faire remarcher les paraplégiques / Le yoga, c'est bon pour le cœur/ Un espoir pour les personnes obèses

64 La souris qui rajeunit

67 Revue de presse

68 Les probiotiques sont-ils bénéfiques pour l'organisme ?

70 Une technique innovante réduit les séquelles de l'AVC

71 L'écriture des SMS modifie le cerveau

71 Livres

HIGH-TECH

26 **ACTUALITÉS** / Contre les angles morts, la voiture devient transparente / On va coloniser Vénus en ballons / Le mur qui change de couleur à la demande

72 Coup de chaud sur les data centers

76 Un canon électrique pour gagner en puissance

79 L'ascenseur découvre l'horizontale

79 Livres

SCIENCE PRATIQUE

104 Qui a piraté Sony ?

106 Test : les scanners

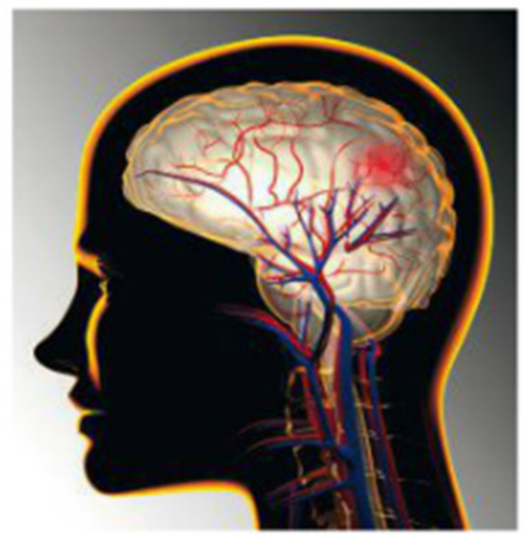
110 L'observation du ciel de février

112 Rendez-vous

114 L'info en continu sur sciencesetavenir.fr

PETEREECKHOOT

Un rituel inca inédit découvert à Pachacamac, au Pérou p. 48


SPL

Un nouveau traitement de l'AVC permet de mieux récupérer p. 70

PHOTONONSTOP

Dossier spécial **« Bien vieillir » p. 81**

DAVID KHAYAT

UN LIVRE INDISPENSABLE

Pr David Khayat

PRÉVENIR LE CANCER

ça dépend AUSSI de VOUS

TOUS MES NOUVEAUX CONSEILS ANTICANCER

Odile Jacob

288 p.
17,90 €

© Julien Bonhamou

ÉDITIONS ODILE JACOB

« J'ai lu avec délice votre n° 815, qui aborde le thème « Qu'est-ce que le génie » ! [...] En nous rassemblant tous [dimanche 11 janvier], ce fut non pas un trait de génie, mais un immense souffle génial, qui a réveillé nos consciences ! »

Michelle L. (13)

« Qu'est-ce que le génie » (*Sciences et Avenir* n° 815, janvier 2015).

Le savoir contre l'obscurantisme

La rédaction de Sciences et Avenir a, comme les 4 millions de personnes qui se sont exprimées à travers toute la France, et les milliers d'autres à travers le monde, été profondément choquée par les attentats terroristes perpétrés au début du mois de janvier. Elle tient à saluer ici la mémoire des victimes : ses confrères et consœur de *Charlie Hebdo* assassinés pour avoir exercé leur droit à la caricature, les clients d'un supermarché casher tués en raison de leur confession juive, et les policiers en exercice. Elle exprime aussi sa solidarité avec les familles et toutes les personnes, nombreuses, qui resteront blessées à jamais dans leur chair et dans leur âme.

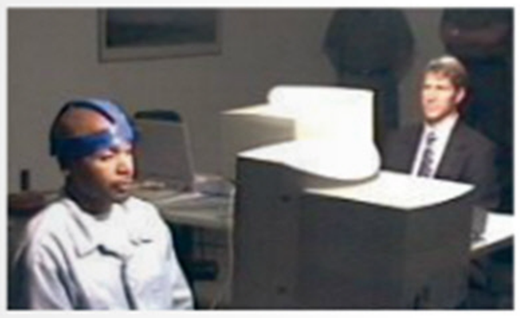
Magazine de sciences, nous traçons chaque mois dans nos pages une ligne infranchissable entre sciences et croyance et nous nous élevons contre toutes les formes d'obscurantisme auxquelles les scientifiques sont désormais confrontés. Qu'il s'agisse du rejet de la théorie de l'évolution élaborée par Darwin, et ressentie comme un blasphème par les fondamentalistes de tous bords, ou de celui du réchauffement climatique, avéré par l'ensemble de la communauté scientifique et pourtant contesté — parfois dans les plus hautes sphères politiques — par une minorité agissante.

Par respect pour une liberté si âprement acquise au cours de l'histoire, nous travaillons dans un seul esprit : celui de la laïcité, et œuvrons pour que le savoir se transmette et avec lui l'idée de progrès. Ce qui n'exclut ni les controverses, ni les polémiques que nous avons à cœur d'exposer dans nos pages afin d'en faire comprendre les enjeux. Profondément attaché à défendre les valeurs qui fondent notre démocratie, *Sciences et Avenir* réaffirme son engagement pour la liberté de la presse et la liberté d'expression.

La rédaction

OLIVIER LASCAR

Courriels à : **redaction@sciencesetavenir.fr**



LARRY FARWELL

Précision

La preuve par le détecteur de mensonge. Dans notre article sur les nouvelles technologies pour détecter le mensonge (*S. et A.* n° 815, janvier 2015), la photo de la page 77 représente Terry Harrington (à gauche) qui a passé vingt-trois ans en prison pour meurtre. En 2000, lors de son procès en révision, le tribunal le soumet à l'analyse de l'empreinte cérébrale mise au point par le Dr Lawrence Farwell (à droite). Cet outil, qui enregistre la forme d'une onde cérébrale, a montré que les souvenirs de l'homme ne correspondaient pas à la scène de crime mais bien à son alibi. Ce qui a permis de l'innocenter.

Les grands rendez-

AFP

1 On saura qui est enterré à Amphipolis

ARCHÉOLOGIE La publication des analyses ADN effectuées sur les restes humains découverts dans le complexe funéraire d'Amphipolis, en Grèce (*lire* S. et A. *n° 811, septembre 2014*), est imminente. Ils devraient apporter des informations sur l'identité de son occupant. Daté de l'époque d'Alexandre le Grand, ce tombeau du IVe siècle avant J.-C. situé en Macédoine abritait des restes osseux sous le plancher d'une chambre souterraine. Un corps avait été placé dans un cercueil en bois dissimulé sous une voûte calcaire. Les dimensions exceptionnelles de ce monument ceint d'un péribole de marbre de 500 m de circonférence ne peuvent concerner qu'un personnage majeur. Roxane, l'épouse d'Alexandre le Grand? Son fils Alexandre Aigos? Un de ses généraux? Débutées en 2012, les fouilles ont suscité un intérêt mondial dès août 2014, après le dégagement de sphinx, d'imposantes cariatides et d'une mosaïque. **B. A.**

AFP

2 Des vaccins contre Ebola seront testés

SANTÉ Plusieurs pistes vaccinales ont été lancées pour aboutir cette année à un vaccin préventif contre le terrifiant virus Ebola qui a déjà fait plus de 8000 morts en Afrique de l'Ouest depuis qu'une nouvelle flambée épidémique y est apparue en décembre 2013. L'un des plus avancés, celui du laboratoire américain Johnson&Johnson, est en étude de phase I d'innocuité (le premier des trois stades avant la mise sur le marché) sur 72 volontaires.
La commercialisation est prévue en milieu d'année. Deux autres candidats vaccins, conçus par GSK et Merck, sont également en phase d'étude mais ils sont moins avancés. **H. R.**

ESA

3 Philae pourrait se réveiller près du soleil

ESPACE Les pronostics des scientifiques sont quasi unanimes : le petit robot Philae, endormi sur la comète Tchourioumov-Guérassimenko, pourrait rouvrir l'œil dès le mois de mars. À la suite de son atterrissage chaotique le 12 novembre dernier, le mini-laboratoire a effectué près de 80 % de ses missions scientifiques avant d'épuiser sa pile et de tomber en hibernation (*lire* S. et A. *n° 815, janvier 2015*). Situé dans une zone ombragée, l'explorateur — introuvable à l'heure où nous écrivons ces lignes — ne reçoit pas assez de lumière pour recharger sa batterie avec ses panneaux solaires. Mais à mesure que la comète se rapproche de notre étoile, des conditions d'ensoleillement plus propices pourraient lui permettre de donner signe de vie à la sonde Rosetta, puis de mettre en route ses instruments. Il serait donc en pleine possession de ses moyens lorsque, le 13 août, l'astre glacé passera au plus près du Soleil. **A. B.**

vous en 2015

S. COMPOINT / RESOLUTE

4 La réplique de la grotte Chauvet sera inaugurée

PRÉHISTOIRE Le fac-similé de la caverne du Pont-d'Arc, plus connue sous le nom de grotte Chauvet, sera accessible au public dès le 25 avril. Après 30 mois de travaux, le site du Razal, sur les hauteurs de Vallon-Pont-d'Arc en Ardèche, ouvrira ses portes pour offrir la plus grande réplique de grotte ornée au monde *(lire* S. et A, *n° 805, mars 2014)*. Les 8500 m² de la célèbre cavité seront « condensés » dans 3000 m², mais la reproduction fidèle des peintures et gravures autant que les éléments géologiques et paléontologiques qui composent cette grotte pourront être contemplés grandeur nature. Ce nouveau pôle touristique dans lequel ont été investis 55 millions d'euros et où l'on attend 350 000 visiteurs par an, a été érigé à 5 km de la cavité d'origine, fermée à des fins de préservation. En juin 2014, le site préhistorique et ses œuvres pariétales vieilles de 36 000 ans ont été inscrits sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco. **B. A.**

SIPA

5 Un avion solaire se lancera dans un tour du monde

AÉRONAUTIQUE L'avion a déjà traversé les États-Unis en 2013, avec pour seule source d'énergie, le soleil. Mais cette année, Solar Impulse, toujours piloté par les Suisses Bertrand Piccard et André Borschberg, devra s'attaquer au défi ultime : le tour du monde.
Le départ de ce périple de 35 000 km est prévu en mars depuis Abu Dhabi, pour 25 jours de vol étalés sur 5 mois. Sans la moindre goutte de carburant, l'engin ne pourra compter que sur les 17 248 cellules photovoltaïques qui recouvrent ses ailes (72 mètres d'envergure), la face supérieure du fuselage et de la queue. Il devra notamment affronter deux étapes particulièrement périlleuses : la traversée de l'Atlantique et celle du Pacifique, où il aura peu de possibilités de se poser en cas de problème. **O. H.**

ET AUSSI

Ouverture du Louvre Abu Dhabi

PATRIMOINE Le Louvre Abu Dhabi devrait être inauguré le 2 décembre, lors de la fête nationale des Émirats arabes unis (EAU). Projet pharaonique, l'édifice, construit sur l'île de Saadiyat par l'architecte français Jean Nouvel, devrait présenter près de 900 œuvres. **B. A.**

Création de l'agence de la biodiversité

ÉCOLOGIE C'est à la fin de l'année que l'Agence française pour la biodiversité (AFB) débutera son travail de suivi et de conseil sur la protection des espèces animales et végétales. Si l'agence regroupe l'Office de l'eau et des milieux aquatiques, les Parcs nationaux de France et l'Agence des aires marines protégées, elle exclut l'Office de la chasse et celui des forêts. **L. C.**

Résultats du captage de CO_2 à Lacq

GAZ À EFFET DE SERRE Le premier bilan décisif du site pilote de Lacq (Pyrénées-Atlantiques) destiné au stockage du CO_2 dans le sous-sol, géré par Total, est attendu dans le courant de l'année. Cette filière pourrait traiter, en 2050, de 20 à 40 % des émissions mondiales émanant des combustibles fossiles. **A. Kh.**

Arrêt d'Osiris

MÉDECINE NUCLÉAIRE L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a ordonné la fermeture, début 2015, du réacteur Osiris situé à Saclay (Essonne), destiné à la production de radio-isotopes à usage médical. Osiris couvre actuellement de 10 % à 12 % de la demande européenne en molybdène 99. Or ce radio-isotope — qui se transforme aussitôt en technétium 99 — est indispensable pour réaliser une scintigraphie. Et sa pénurie est probable. **A. Kh.**

PHANIE

6 Des autotests pour le sida seront commercialisés

PRÉVENTION Les associations les appelaient de leurs vœux. Marisol Touraine, ministre de la Santé, a entendu leurs demandes et a annoncé la vente d'autotests de dépistage du virus du sida en pharmacie dès le mois de juillet. En quelques minutes, à partir d'un échantillon de salive, le test de dépistage rapide permet de dire si la personne est porteuse ou non du virus. Sans ordonnance et au prix d'une vingtaine d'euros, ce test pourra également être distribué gratuitement par les associations. Très fiable mais ne détectant pas le virus directement, il ne renseignera toutefois que sur le statut virologique du patient trois mois auparavant (contre quinze jours pour le dépistage classique). L'autotest pourra donc être négatif si la personne a contracté le virus en deçà des trois mois, les anticorps produits en réponse à l'infection n'étant pas encore détectables. Un faux résultat qui inquiète déjà certains professionnels de santé. **H. R.**

AFP

7 La fermeture d'une centrale française pourrait être décidée

ÉNERGIE Au cours du premier semestre, le Parlement va adopter la loi de transition énergétique qui impose la limitation de la puissance du parc nucléaire français à 63,2 gigawatts. Or, EDF est par ailleurs légalement contrainte de demander l'autorisation d'exploitation de l'EPR de Flamanville (1,6 gigawatt) au plus tard en octobre prochain, afin de respecter les dix ans de validité du décret d'autorisation de construction de cette centrale, paru en avril 2007. Dans la foulée, l'opérateur sera donc obligé de désigner les deux réacteurs qui devront fermer pour respecter le plafond des 63,2 GW. Fessenheim (Haut-Rhin) comme vient de le confirmer le président de la République, le Blayais (Gironde), le Tricastin (Drôme et Vaucluse) ou deux des six réacteurs de Gravelines (Nord) comme le souhaitent certaines associations antinucléaires ? **L. C.**

NASA

8 On va explorer Cérès et Pluton

ASTRONOMIE L'exploration des planètes naines sera à l'honneur cette année. Après neuf ans de voyage, la sonde américaine New Horizons est arrivée à proximité de Pluton mi-janvier et a commencé à ausculter l'objet céleste qui orbite au-delà de Neptune, dans la ceinture de Kuiper. Elle passera au plus près de l'astre le 14 juillet prochain. La sonde étudiera notamment la surface de Pluton et de sa lune Charon afin d'établir une cartographie de leur température et de leur composition, et de recueillir des données géologiques. La mission, qui s'intéressera aussi aux satellites de la planète naine, pourrait en découvrir de nouveaux. La sonde américaine Dawn, quant à elle, se mettra en orbite autour de Cérès au mois de mars. Cet astre, le plus massif de la ceinture d'astéroïdes gravitant entre Mars et Jupiter, reste un mystère pour les astronomes et pourrait abriter de l'eau liquide sous sa surface glacée. **A. B.**

EN BREF

SUPER-LASER. Le laser Mégajoule près de Bordeaux (Gironde), destiné à remplacer les essais nucléaires par des modélisations, a officiellement démarré début janvier. **FUNÉRAILLES ROYALES.** Richard III, roi d'Angleterre dont le squelette a été retrouvé en 2012 sous un parking de Leicester, devrait être inhumé le 22 mars dans la cathédrale de cette même ville. **ANNÉE EINSTEIN.** Anniversaire marquant de l'année : le centenaire de la théorie de la relativité générale formulée par Albert Einstein.

C. MAHOUDEAU/IFB

9 La France accueillera le sommet sur le climat

ENVIRONNEMENT Le 30 novembre, s'ouvrira sur l'aéroport du Bourget, près de Paris, la négociation finale pour un accord mondial permettant de trouver une suite au protocole de Kyoto de 1997. Les 195 États membres de l'ONU vont devoir s'entendre sur leurs efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Chaque pays doit dévoiler ses objectifs d'ici au printemps. Le but est de s'accorder sur des mesures pour que la hausse des températures de la planète n'excède pas les 2 °C à la fin de ce siècle. Cette grande réunion internationale devrait rassembler plus de 20 000 négociateurs et 10 000 journalistes. Elle sera précédée tout au long de l'année de rencontres préparatoires se tenant à Paris : les métropoles le 25 mars, les grandes entreprises les 20 et 21 mai, les scientifiques du 7 au 10 juillet à l'Unesco. Le 20 septembre, l'assemblée générale de l'ONU définira ses grands objectifs de développement qui seront reliés à la lutte contre le réchauffement. Tout au long de l'année, les Français seront invités à s'associer à l'événement à travers des rencontres citoyennes et la préparation de manifestations festives prévues en marge de la négociation. **L. C.**

J. VERSMANS/MUSÉE DE L'HOMME

10 Le musée de l'Homme va rouvrir ses portes

ANTHROPOLOGIE Après six ans de travaux et de refonte intellectuelle, le musée rénové du palais de Chaillot rouvrira ses portes le 17 octobre à Paris. La grande verrière occultée en 1937 a été dégagée, ouvrant un puits de lumière. Une galerie permanente déroulera une réflexion sur l'évolution de l'homme et de son environnement. Elle racontera notre histoire naturelle et culturelle, autour des trois questions fondamentales : qui sommes-nous, d'où venons-nous et où allons-nous ? Doté d'un centre de ressources et d'un auditorium, le musée de l'Homme restera le musée-laboratoire voulu par son fondateur, Paul Rivet : un centre de recherche sur l'évolution humaine regroupera 150 chercheurs, préhistoriens, anthropologues, ethnologues et généticiens autour des collections. Soit 500 000 objets de préhistoire et 30 000 d'anthropologie, dont les crânes de Cro-Magnon, de Neandertal et de... Descartes. Un précieux trésor pour mieux comprendre notre humanité. **R. M.**

ET AUSSI

Le premier vaccin contre la dengue

INFECTIOLOGIE Mi-2015, il y aura — enfin ! — un vaccin (commercialisé par Sanofi) contre la dengue, la maladie tropicale la plus répandue après le paludisme, due à un virus transmis par le moustique *Aedes*. Les derniers résultats des essais publiés l'été dernier dans la revue *The Lancet* ont affiché un taux de protection d'environ 57 % et une réduction de 85 % des cas graves. **S.R.-M.**

La tour invisible

ARCHITECTURE A Séoul, en Corée du Sud, doit commencer cette année le chantier d'un gratte-ciel de 453 m capable de... disparaître dans le décor ! La tour Infinity, conçue par le cabinet d'architecture GDS sera équipée de caméras filmant l'environnement et de LED projetant les images sur les façades de verre en temps réel, créant une illusion d'invisibilité *(lire* S. et A. *n° 803, janvier 2014)*. **A. D.**

L'année de la lumière

PHYSIQUE L'ONU a déclaré 2015 année internationale de la lumière. Des festivités sont prévues à travers toute la France : conférences, expositions, visite de laboratoire et de musées mais aussi spectacles sons et lumières... Les événements sont recensés sur un site Internet dédié*. **A. Kh.**

* http://www.lumiere2015.fr/

Un nouvel épisode de « Star Wars »

SCIENCE-FICTION *Le Réveil de la force* sortira en décembre, et ce sera le *Star Wars* de la rupture. D'abord celle d'une longue attente, puisque le film est chronologiquement placé après *le Retour du Jedi*, sorti en 1983. Rupture aussi avec le « père », puisque George Lucas, créateur de la saga, a vendu ses droits à Disney. Le film est réalisé par J. J. Abrams, qui a déjà piloté les derniers *Star Trek*. **O. L.**

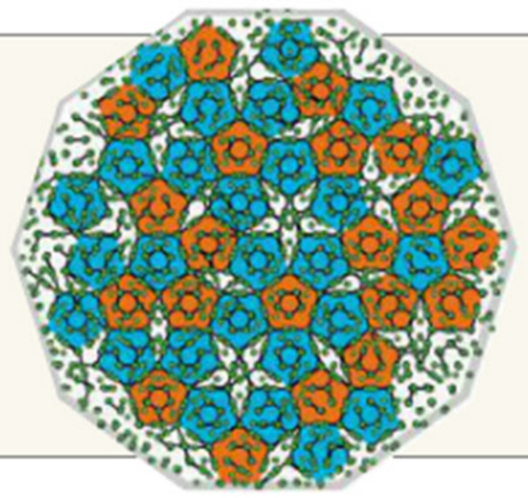
La Lune a eu un champ magnétique

Il aurait même été plus intense que celui de la Terre aujourd'hui.

La Lune, à l'instar de la Terre, aurait eu un cœur en fusion (sphère rouge) à l'origine du champ magnétique.

HERNAN CANELLAS MIT

ASTRONOMIE Il y a des milliards d'années, la Lune aurait eu un cœur en fusion, produisant, à l'instar du noyau terrestre, un champ magnétique. Celui-ci aurait même été plus intense que celui de la Terre aujourd'hui. Un résultat surprenant car la masse de notre satellite n'est que d'environ 1 % celle de la Terre. Le mécanisme de maintien de ce champ devait donc être assez complexe. L'équipe de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT, États-Unis) à l'origine de cette découverte a examiné une nouvelle fois les échantillons lunaires rapportés par les missions Apollo des années 1970. Elle a découvert la présence de minéraux qui avaient été autrefois magnétisés, preuve qu'ils étaient alors plongés dans un environnement magnétique intense. Ce champ aurait persisté entre -4,2 et -3,56 milliards d'années. Puis il aurait décliné brusquement à partir de -3,3 milliards d'années, sans que les scientifiques ne comprennent pourquoi. Ils soupçonnent une solidification du cœur en fusion : en effet, si la Terre a un champ magnétique, c'est à cause des mouvements au sein de son noyau de fer liquide. La vitesse de solidification de ce noyau fait débat. La préciser permettrait d'estimer à quel moment le champ magnétique terrestre — qui nous protège des particules cosmiques de hautes énergies — devrait décliner à son tour. **A. Kh.**



MICHEL ENGEL

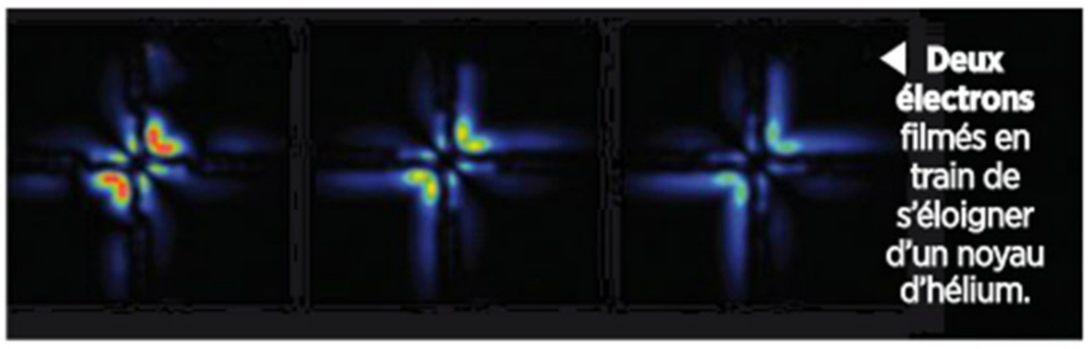
On a simulé le cristal le plus complexe du monde

CRISTALLOGRAPHIE C'est la première fois que l'on modélise un cristal possédant une structure si compliquée à partir d'un seul type de particule ! Pourtant, à première vue, ce polyèdre à 20 faces semble ordonné. Néanmoins son organisation n'est pas périodique, ce qui en fait de lui un « quasi-cristal ». Ses motifs répondent à une symétrie complexe, dite icosaédrique, qui s'observe par rotation de l'objet. Un arrangement que l'on retrouve dans l'enveloppe des virus ou dans des molécules comme les fullerènes. **A. B.**

SOURCE : MICHAEL ENGEL, UNIVERSITY OF MICHIGAN, ANN ARBOR, ÉTATS-UNIS.

Des poussières cométaires découvertes sur Terre

ASTRONOMIE Les glaces de l'Antarctique viennent de livrer un trésor extraordinaire : plus de 40 poussières d'origine cométaire y ont été retrouvées par des chercheurs. Jusqu'ici, on pensait que leur fragile structure ne pouvait pas survivre à une traversée de l'atmosphère. Elles étaient donc récoltées par avion dans la stratosphère ou à l'aide de sondes spatiales. Ces particules comptent parmi les plus anciennes du système solaire. **A. B.**



Deux électrons filmés en train de s'éloigner d'un noyau d'hélium.

MPI

On a vu des électrons danser

PHYSIQUE Pour la première fois, la danse quantique des électrons d'un atome (d'hélium) a pu être visualisée. L'exploit a été réalisé grâce au laser hébergé à l'Institut de physique nucléaire d'Heidelberg (Allemagne), qui dispense les plus courtes impulsions possibles aujourd'hui, d'une durée inférieure à 100 attosecondes (milliardièmes de milliardième de s). Les chercheurs ont surpris deux électrons en train de se rapprocher du noyau puis de s'en éloigner, ce qui correspond à la description de la physique quantique : une probabilité de présence sous forme d'un nuage de points. **A. Kh.**

39 mètres

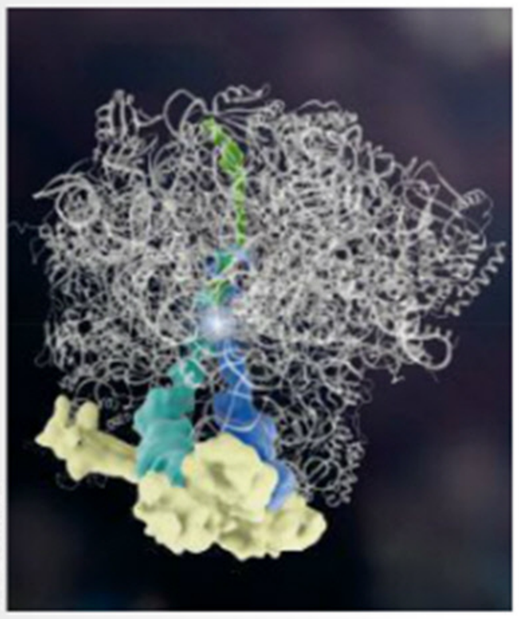
Le diamètre du miroir du futur télescope européen

L'E-ELT (European Extremely Large Telescope) sera, au début de la prochaine décennie, le plus grand instrument observant dans le visible. Il sera construit à une altitude de 3060 mètres, dans la partie centrale du désert d'Atacama au Chili. **M. N.**

Fin de partie pour Venus Express

PLANÉTOLOGIE La sonde européenne Venus Express doit définitivement plonger dans l'atmosphère de Vénus avant fin janvier. Lancée en novembre 2005, Venus Express, dont la mission a été rallongée trois fois, a épuisé les ergols qui la maintenaient sur son orbite et va se désintégrer. Elle a analysé pendant plus de huit ans l'atmosphère vénusienne, a observé les tourbillons atmosphériques du pôle sud et aurait détecté des signes d'activité volcanique récente. **J.-O. B.**

La protéine qui fabrique des protéines



JANET WASA

BIOLOGIE Une nouvelle façon de fabriquer des protéines dans les cellules humaines a été découverte. Ce sont des protéines qui contribueraient elles-mêmes à l'assemblage d'acides aminés, comme le suggère l'image ci-dessus publiée dans le journal *Science*. En jaune, la protéine Rqc2 est connectée à un ARN bleu et vert au sein d'un ribosome (le fatras de « spaghettis blancs », l'usine moléculaire dans laquelle sont assemblées les molécules). **H. R.**

SOURCE : PETER SHEN, UNIVERSITY OF UTAH, SALT LAKE CITY, ÉTATS-UNIS.

QUESTIONS À

CERN

Patrick Janot Physicien au Cern

Le LHC à la recherche de nouvelles particules

En mars, le LHC (l'accélérateur de particules du Cern, installé entre la France et la Suisse) entre dans sa deuxième phase d'exploitation. Objectif : atteindre une énergie de 13 téraélectronvolts contre 7 actuellement.

Qu'apporta cette augmentation d'énergie ?
À plus haute énergie, le nombre « d'événements » — en termes de production de particules — sera plus important. Or, plus le nombre de particules produites est élevé, plus les méthodes statistiques utilisées pour déterminer leurs caractéristiques, comme leur masse et leur mode de désintégration, donnent des résultats précis.

Quels nouveaux programmes de recherche seront développés ?
Dans un premier temps, le LHC pourrait produire un grand nombre de bosons de Higgs. Ce qui permettra d'affiner la masse de cette particule élémentaire découverte au Cern en 2012. Cette montée en énergie rendra possible la recherche de nouvelles particules de masse plus importante. Cela inclut les particules supersymétriques qui pourraient expliquer la masse cachée de l'Univers *(lire aussi notre dossier p. 28)*.

Quel sera le futur du LHC ?
Son fonctionnement à pleine puissance est prévu jusqu'en 2030. À l'horizon 2023 débute le programme HL-LHC (LHC à haute luminosité). Il s'agit d'augmenter l'intensité du faisceau et donc sa luminosité d'un facteur trois. De quoi surprendre des désintégrations trop fugaces qui nous échappent actuellement.

Propos recueillis par A.Kh.

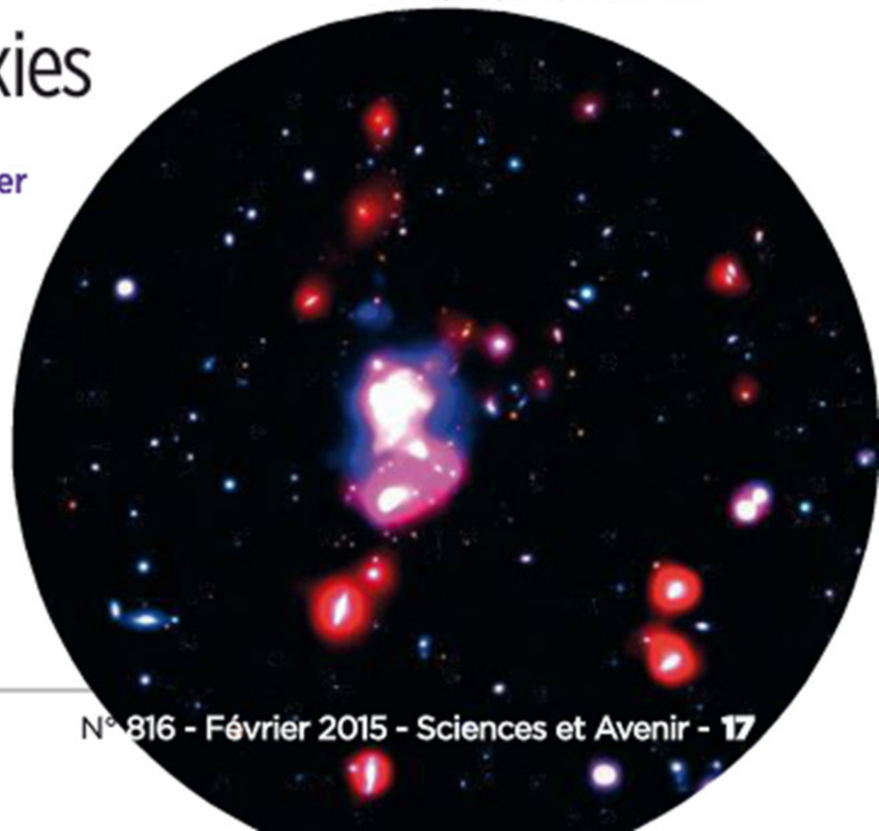
Les impacts d'astéroïdes sont sources de vie

EXOBIOLOGIE En recréant en laboratoire les conditions de température et de pression produites par l'impact d'un astéroïde ou d'une comète sur notre planète, des scientifiques ont, pour la première fois, observé la formation d'adénine, de guanine, de cytosine et d'uracile, les quatre constituants l'ARN (acide ribonucléique). Cette molécule clé pour l'apparition de la vie serait peut-être la première à avoir stocké une information génétique. Lors de leur expérience, les scientifiques ont frappé une solution contenant du formamide — un composé probablement présent en grande quantité sur la jeune Terre — à l'aide d'un laser, provoquant ainsi un pic de température supérieur à 4200 °C et une cascade de radiations, notamment des rayons X et ultraviolets. **A. B.**

Le plus lourd des amas de galaxies

ASTROPHYSIQUE 400 mille milliards de fois le Soleil : c'est la masse de XDCP J0044.0-2033, un amas de galaxies situé à 9,6 milliards d'années-lumière de nous *(photo)*. Il a été baptisé « Gioiello » — joyau en français — par l'équipe de chercheurs italiens de l'observatoire Chandra de la Nasa, un télescope en orbite sensible aux rayons X, qui l'a « pesé ». Pour déterminer cette masse, les astronomes ont d'abord observé et estimé la quantité de gaz chaud qui émet des flots de rayons X. Comme ce gaz est pris dans le champ gravitationnel provoqué par la masse de l'amas, ils en ont déduit celle-ci. **A. Kh.**

NASA / CXC / INAF / P. TOZZI ET AL.



Trois nouveaux découvreurs pour Chauvet

PATRIMOINE Trois spéléologues, Daniel André, Michel Chabaud et Michel Rosa, ont fait savoir qu'ils appartenaient au groupe ayant repéré l'entrée de la « grotte Chauvet » en 1994 et revendiquent le titre d'inventeurs (découvreurs) du site, avec Jean-Marie Chauvet Éliette Brunel et Christian Hillaire. Bien qu'ils disent ne pas réclamer d'argent, leur revendication bloque l'accord financier établi avec les trois inventeurs officiels. **C. C.**

SUR LE WEB

L'album photo de Versailles

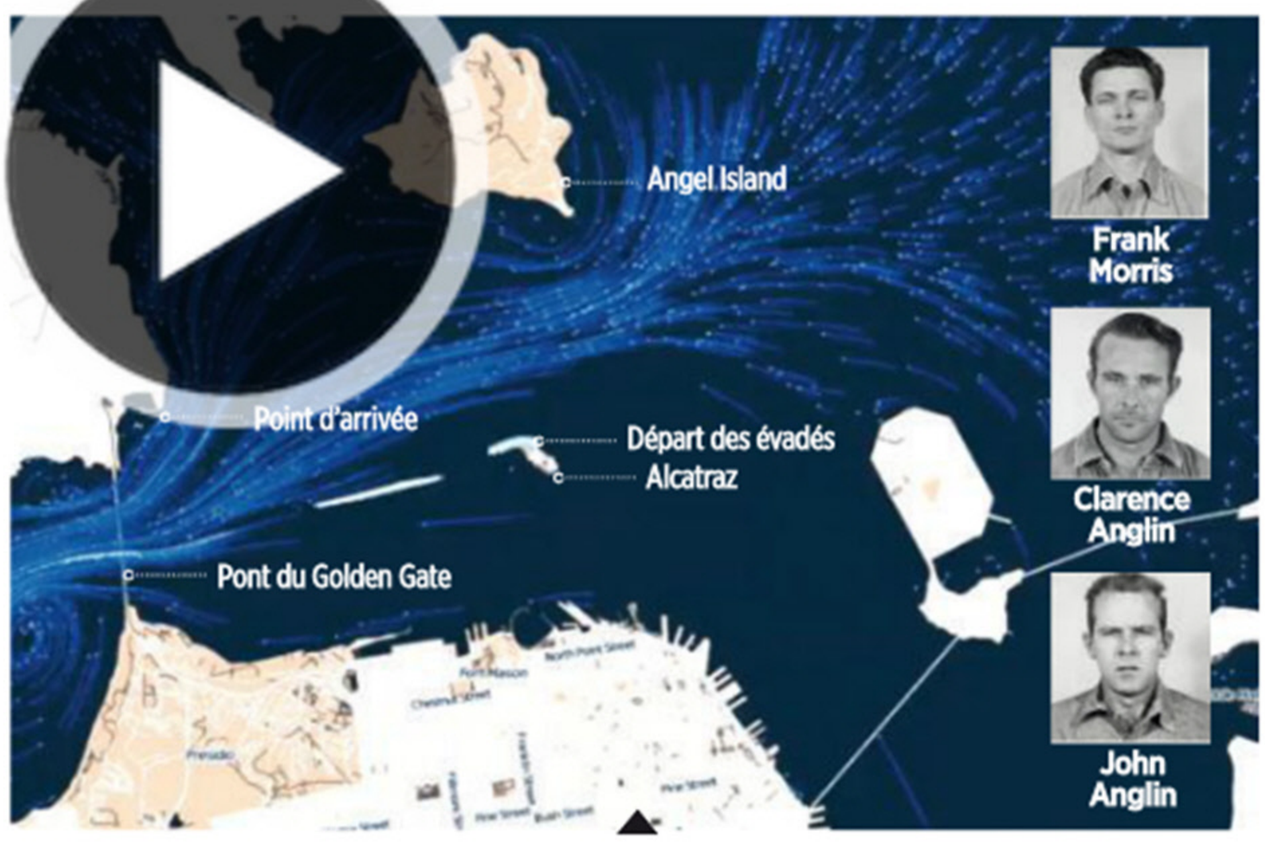
Les premières photographies du château de Versailles prises par des particuliers en visite publiées sur la nouvelle version de son site. Cette collection remonte à 1901. **A. D.**
http://photosouvenir.chateauversailles.fr/fr/timeline

CHÂTEAU DE VERSAILLES, 2014

Le roi d'Espagne en visite au château (1905).

Les évadés d'Alcatraz poussés par le courant

Une simulation des eaux de la baie de San Francisco accrédite la thèse d'une évasion réussie en 1962.



Reconstitution du scénario de l'évasion par une équipe de chercheurs néerlandais.

CRIMINOLOGIE Officiellement personne n'a jamais réussi à s'évader du pénitencier d'Alcatraz, situé sur un îlot de la baie de San Francisco (États-Unis). Pourtant, une question reste en suspens depuis cinquante-trois ans : Frank Morris et les frères John et Clarence Anglin ont-ils réussi leur tentative le 11 juin 1962 ou se sont-ils noyés ? Selon une simulation des eaux de la baie cette nuit-là, effectuée par des chercheurs néerlandais à partir de données sur les marées, les courants auraient bien pu leur être favorables ! Un départ avant 23 heures leur aurait été fatal car des courants puissants les auraient entraînés en pleine mer. En revanche, une embarcation de fortune larguant les amarres entre 23 heures et minuit aurait eu toutes les chances d'atteindre la baie en fer à cheval, au nord du pont du Golden Gate. Ensuite, poussée par les courants, l'embarcation aurait flotté jusqu'à Angel Island… là où une pagaie et des effets personnels des prisonniers ont été retrouvés. Or l'affaire a été classée en 1979 après 17 ans d'enquête qui n'avaient pas permis de déterminer l'heure de l'évasion avec précision. **A. B.**

SUPERINTENDENT OF THESSALONIKI OFFICE, SCULY

Les lingots ont été retrouvés dans une épave.

D'extraordinaires lingots d'orichalque

ARCHÉOLOGIE 39 lingots d'orichalque (« cuivre des montagnes »), un alliage métallique légendaire, ont été découverts dans l'épave d'un navire coulé il y a 2600 ans en mer de Gela, au sud de la Sicile. Cet alliage mentionné par le philosophe grec Platon dans *Critias*, aurait été utilisé par les habitants de la mythique Atlantide. Selon les archéologues à l'origine de la trouvaille, l'analyse par fluorescence à rayons X (XRF) a révélé que les lingots étaient composés d'un alliage à près de 80 % de cuivre, 20 % de zinc avec des traces, de nickel, de plomb et de fer. **B. A.**

Des Vikings dans l'Arctique canadien dès l'an 1000

ARCHÉOLOGIE Une coupelle en céramique retrouvée sur un site paléo-esquimau pourrait constituer une nouvelle preuve de contacts entre les Vikings et les populations de l'Arctique canadien dès l'an 1000. D'après la revue *Géoarchéologie*, cet objet recueilli dans les années 1960 et qui vient d'être analysé aurait servi de creuset pour fondre du bronze. Or les peuples autochtones ne pratiquaient pas la fonte des métaux. **B. A.**

Une tombe osirienne à Louxor

ÉGYPTOLOGIE Une mission archéologique italo-espagnole a mis au jour un rare tombeau osirien de la XXV[e] dynastie (760-656 avant J.-C.), dans la nécropole de Gournah, sur la rive ouest de Louxor (Égypte). Il s'agirait d'une réplique fidèle du célèbre Osiréion de Seti 1[er], la sépulture mythique du dieu des morts. *« Pour accroître ses chances de revivre dans l'au-delà, son propriétaire a fait modeler la partie souterraine de sa tombe sur le plan idéal de celle d'Abydos* [l'ancienne ville sainte d'Égypte vouée au culte de ce dieu] », explique l'égyptologue Pascal Vernus. **B. A.**

MATJAZ KACICNIK/MIN PROJECT

Ce tombeau serait une réplique de l'Osiréion de Seti 1[er].

TESTEZ VOTRE ESPRIT GT SUR **308GT.COM**

NOUVELLE PEUGEOT 308 GT

ADOPTEZ L'ESPRIT GT

Moteur 1,6L THP 205 ch
Moteur 2,0L BlueHDi 180 ch / *SUSPENSION SPORT* / *DRIVER SPORT PACK*

ORIGINE FRANCE GARANTIE® BVCert. 6033203

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL **Consommation mixte (en l/100 km) : de 4 à 5,6. Émissions de CO_2 (en g/km) : de 103 à 130.**

BETC Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Paris.

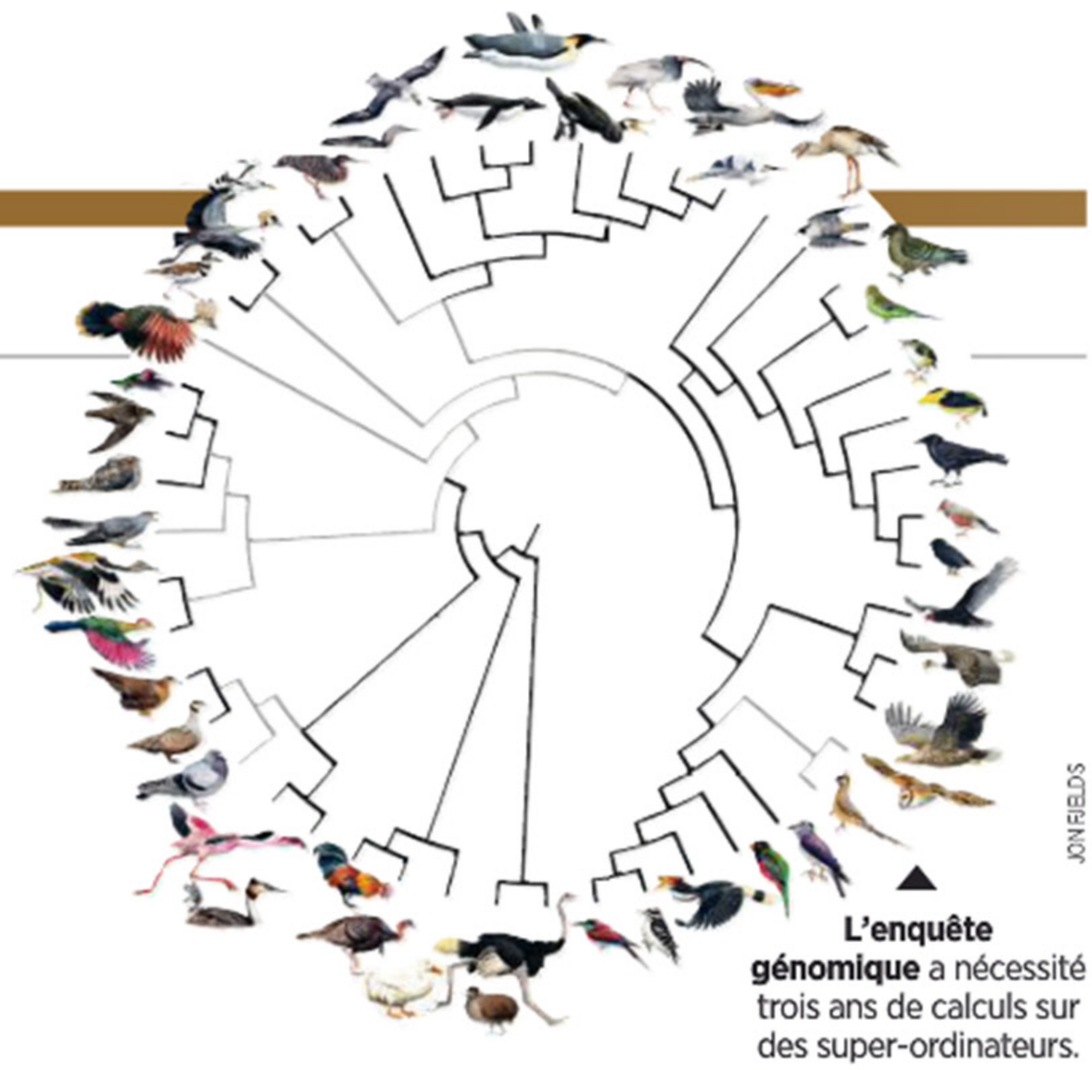
NOUVELLE PEUGEOT 308 GT

MOTION & EMOTION

PEUGEOT

Après les dinosaures, survint le Big Bang des oiseaux

Les 10 000 espèces que nous connaissons aujourd'hui ont pu se multiplier après le cataclysme survenu il y a 66 millions d'années.



JON FJELDS

L'enquête génomique a nécessité trois ans de calculs sur des super-ordinateurs.

PALÉONTOLOGIE Seules quelques espèces d'oiseaux ont survécu au cataclysme qui a conduit notamment à l'extinction des dinosaures il y a 66 millions d'années, mais ces rescapées ont connu ensuite un véritable « big bang » aviaire. Leur évolution s'est accélérée durant 10 à 15 millions d'années pour aboutir aux quelque 10 000 espèces que nous connaissons de nos jours. Tel est le résultat d'une enquête génomique menée par 200 scientifiques de 20 pays durant quatre ans. Quarante-huit espèces d'oiseaux (autruche, canard, faucon, perroquet, ibis, aigle...) ont été séquencées. Entre autres découvertes : les oiseaux modernes sont apparus après l'extinction des dinosaures ; le coq est celui qui partage le plus de similarités avec les dinosaures ; certaines espèces d'oiseaux possèdent les mêmes gènes que les humains pour l'apprentissage des sons. Les volatiles ont aussi vu disparaître leurs dents il y a environ 116 millions d'années avec des mutations sur les cinq gènes commandant la production d'émail et d'ivoire. **J. I.**

PAROLES

« J'appelle toutes les parties impliquées dans les opérations militaires à arrêter immédiatement d'utiliser ou de prendre pour cible des sites archéologiques » **Irina Bokova**, directrice générale de l'Unesco, en réaction aux destructions de sites en Irak et en Syrie

Avant l'astéroïde, une volcanisme intense

PALÉONTOLOGIE Des zircons (des minéraux du groupe des silicates) relancent l'hypothèse selon laquelle le volcanisme a joué un rôle primordial dans la disparition des dinosaures, en amplifiant l'effet de l'astéroïde qui a frappé la Terre voici 66 millions d'années. Trouvés dans les plateaux basaltiques du Deccan, en Inde, ils ont permis d'affiner l'époque à laquelle a débuté une période de volcanisme intense : ce fut à peine 250 000 ans avant l'extinction massive des organismes vivants. **L. B.**

SOURCE : BLAIR SCHOENE, PRINCETON UNIVERSITY, ÉTATS-UNIS.

RONSHIMELMITZ

Silex ayant été exposés au feu.

Le feu était maîtrisé il y a 350 000 ans

PRÉHISTOIRE Une récente étude, reposant sur des travaux effectués dans la grotte de Tabun (Israël), un site occupé pendant 500 000 ans, confirme que nos ancêtres n'auraient recouru à un usage régulier du feu qu'à partir de -350 000 ans. L'analyse des outils préhistoriques recueillis dans les différentes couches de ce dépôt de 16 m d'épaisseur a permis de constater qu'avant cette période, presque aucun silex n'avait été brûlé, alors que ceux provenant des niveaux postérieurs, montraient tous des signes d'exposition aux flammes. **B. A.**

ZDF/ANDREASSULZER

La fabrique souterraine, en Autriche.

Une usine nazie d'armes de destruction massive

ARMEMENT Fin décembre, l'existence en Autriche d'un complexe industriel du IIIe Reich inconnu jusqu'alors a été révélée par Andreas Sulzer, réalisateur de la ZDF (une télévision publique allemande). Selon le journal britannique *The Sunday Times*, cette usine souterraine, située près de Sankt Georgen an der Gusen, pourrait avoir été utilisée dans le but de produire des armes nucléaires, en équipant notamment une variante de missiles V2 de matières fissiles. Les galeries de cette infrastructure secrète étaient, semble-t-il, connectées à l'usine Bergkristall, où a été fabriqué le premier chasseur à réaction opérationnel le Messerschmitt 262. **B. A.**

Vu à la TV

easyshower®

LA DOUCHE SUR-MESURE

N°1 de la douche sécurisée, recommandée par Bernard Hinault

Médaillé Concours Lépine international Paris 2014 Médaillé

AVANT
une baignoire devenue difficile à enjamber

FAIT MAIN EN FRANCE

APRÈS : *un espace douche accessible et sécurisé fabriqué à la main, sur-mesure et en fibre de verre.*

NOUVEAU **Votre simulation 3D**

Coloris au choix

Installation 1 journée

25% de crédit d'impôt*

Fibre de verre qualité nautique

Nous simulons avec vous l'intégration de votre future douche dans votre salle de bains.

N°Azur 0810 120 140

PRIX D'UN APPEL LOCAL

www.easyshower.fr

Photos non contractuelles, pare-douche, barre de maintien et accessoires en option. Crédit photo : Fotolia.

A retourner sous enveloppe non affranchie à :
A.C.S. - Libre réponse 80629 - 41130 Selles s/Cher

SEA001

☑ Je souhaite recevoir une brochure gratuite

○ Je souhaite le passage d'un technicien pour un devis et une simulation 3D, gratuit et sans engagement.

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

C.P : _____ Tél : _____

Ville : _____

E-mail : _____

@ _____

Je suis joignable le : ❑ Matin ❑ Après-midi

❑ Précisez : .....

Conformément à la loi n°78.17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, vous bénéficiez d'un droit individuel d'accès et de rectification pour les données vous concernant.

J.P. DEGAS/HEMIS.FR

La faune et la flore du fleuve San Juan, qui s'écoule du lac du Nicaragua à la mer des Antilles, est menacée.

Canal du Nicaragua, une percée à haut risque

Cette liaison transocéanique de 280 km, dont le chantier vient de débuter, va perturber plusieurs écosystèmes de ce pays d'Amérique centrale.

ENVIRONNEMENT Les constructeurs chinois et le président du Nicaragua, Daniel Ortega, ont officiellement lancé le 22 décembre les travaux du canal du Nicaragua. Cet immense lien transocéanique destiné à concurrencer le canal de Panama sera long de 280 km. Il devrait coûter 42 milliards d'euros. L'Académie des sciences de ce petit pays d'Amérique centrale s'alarme des impacts environnementaux : l'institution a rendu en novembre un rapport listant une imposante série de risques environnementaux induits par un ouvrage impliquant la traversée du lac Nicaragua, la plus grande réserve d'eau douce entre Mexique et Venezuela.

La principale inquiétude porte sur le creusement d'un chenal profond de 30 m au beau milieu du lac qui n'a que 12 m de profondeur. Les travaux vont mettre des particules en suspension, asphyxier toute vie en réduisant la teneur en oxygène de l'eau, et rendre celle-ci non potable. L'alimentation du canal nécessitera en outre la construction d'un lac artificiel qui détournera l'eau des rivières et diminuera les ressources pour l'irrigation des cultures. **L. C.**

BETTY LAFON

Le nouveau canal doit relier le Pacifique à l'Atlantique en traversant le lac Nicaragua, immense réserve d'eau douce.

Le castor fait un retour polluant

ENVIRONNEMENT La protection du castor (qui était en voie d'extinction au début du XX^e siècle, car chassé pour sa fourrure) a pour effet pervers d'augmenter les émissions de gaz à effet de serre, constate Colin Whitfield, de l'université du Saskatchewan (Canada). Ce chercheur a calculé la quantité de méthane émis par les 42 000 km² de retenues d'eau construites par les 10 millions de *Castor canadensis* d'Amérique du Nord et de *Castor fiber* d'Eurasie. 8 millions de tonnes de ce gaz à effet de serre sont ainsi produites par la dégradation des végétaux inondés. **L. C.**

O. HAARBERG/NATUREPL/EB PHOTO

Les végétaux noyés par les castors émettent du méthane.

La chenille processionnaire à Paris

ENTOMOLOGIE *Thaumetopoea pityocampa* poursuit son inexorable invasion de l'Hexagone. La chenille urticante qui fait son nid dans les branches de résineux est arrivée en Île-de-France. « *L'évolution climatique fait que tout le territoire français présente désormais des conditions favorables à son expansion* », note Alain Roques, animateur du réseau d'étude de l'espèce organisé par l'Inra. Vers 2050, la « processionnaire du pin » pourrait atteindre le Danemark. **L. C.**

B. BORRELL/BIOSPHOTO

2 %

La croissance des émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre ont battu un nouveau record en 2013 avec 35,3 milliards de tonnes, soit 700 millions de plus qu'en 2012. Mais la croissance marque le pas puisqu'elle culminait à 3,8% par an depuis 2003. **L. C.**

SOURCE : AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT DES PAYS-BAS.

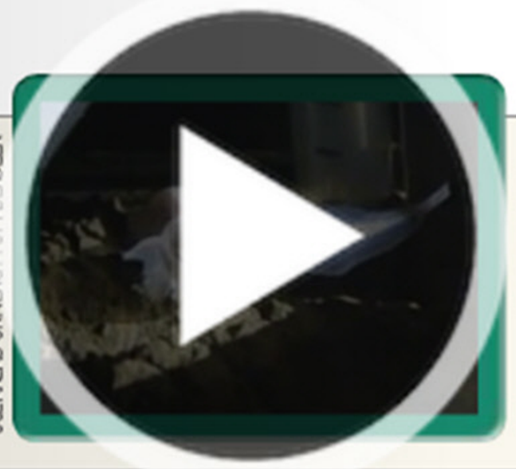
Les OGM « renationalisés »

DROIT Le Parlement européen a adopté le 13 janvier une directive redonnant aux États membres le droit de décider s'ils veulent ou non des cultures OGM sur leur territoire. L'évaluation des risques reste cependant sous la responsabilité de l'Union européenne et de son organisme scientifique, l'agence européenne de sécurité des aliments. **L. C.**

SUR LE WEB

Le climat en questions

CLIMATOLOGIE Les climatologues de l'Institut Pierre-Simon Laplace lancent un site pédagogique proposer des réponses de scientifiques aux questions les plus courantes sur l'évolution du climat. **L. C.**
www.climat-en-questions.fr/



OCEAN X/DISCOVERY CHANNEL

À VOIR SUR TABLETTE

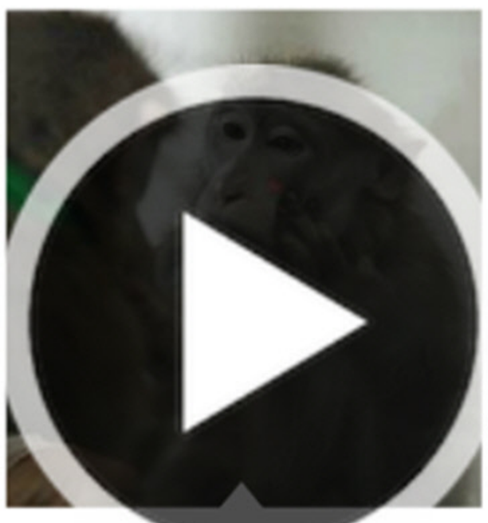
8145 m : le record de profondeur pour un poisson

ICHTYOLOGIE C'est une espèce de poisson inconnue qui a été filmée dans la fosse des Mariannes dans le Pacifique nord, à 450 m plus profond que le poisson-limace *Pseudoliparis amblystomopsis,* aperçu en 2008 dans la fosse du Japon. Le record sera sans doute dur à battre, car en raison des conditions de pression, aucun poisson ne devrait pouvoir vivre au-delà de -8200 m. **L. C.**

Des macaques entraînés à se reconnaître

PRIMATOLOGIE Entraînés par des chercheurs chinois, des macaques rhésus ont appris à explorer leur corps devant un miroir. Normalement, les singes à queue échouent au test, contrairement aux chimpanzés. Ici, ils ont été exercés à l'aide de marques laser irritantes, puis de tâches colorées. En 2010, on observait déjà des macaques pourvus d'implants sensibles sur le crâne se palper la tête devant un miroir. **R. M.**

SOURCE : LIANGTANG CHANG, SHANGHAI INSTITUTES FOR BIOLOGICAL SCIENCES



N GONG/CURRENT BIOLOGY

Ces singes à queue ont acquis une faculté qu'on croyait réservée aux singes sans queue.

Une grenouille accouche de têtards

ERPÉTOLOGIE Chercheur à l'université de Berkeley (États-Unis), Jimmy McGuire a eu la surprise de voir une grenouille accoucher de têtards dans sa main ! Baptisée *Limnonectes larvaepartus,* cette espèce endémique de l'île de Sulawesi (Indonésie) est un cas unique. Les 6455 espèces de grenouilles répertoriées dans le monde se reproduisent massivement par la ponte d'œufs fécondés ensuite par le mâle. Une douzaine d'espèces ont un mode de reproduction interne, mais c'est la première fois qu'on observe la naissance de têtards. **L. C.**

Le vautour a un estomac en béton

ORNITHOLOGIE N'importe quel animal s'essayant au régime alimentaire du vautour en trépasserait. Pas le rapace qui supporte parfaitement cette nourriture avariée. Il apparaît que son microbiote (flore intestinale) est riche en bactéries mortelles *Clostridium* ou *Fusobacterium* mais son système digestif très puissant peut détruire la majorité des micro-organismes ingérés. Résultat : un microbiote aussi vorace que réduit. Alors que l'estomac humain peut contenir près de 1000 types de bactéries, celui du vautour en compte dix fois moins. **H. R.**

SOURCE : MICHAEL ROGGENBUCK, UNIVERSITÉ DE COPENHAGUE, DANEMARK .

ARNDT/MINDEN PICTURES/BIOSPHOTO

La flore intestinale du vautour lui permet de supporter une nourriture avariée.

Les loups comptent mieux que les chiens

La perte de cette capacité chez le chien pourrait être due à la domestication par l'homme.

ÉTHOLOGIE Quand on est sauvage, savoir compter est un avantage, mais cette aptitude sert moins quand on est domestiqué. C'est l'hypothèse émise par les chercheurs de l'École vétérinaire de Vienne (Autriche) après comparaison des performances de loups et de chiens. Dans une première étude en 2012, onze *Canis lupus* avaient à choisir en appuyant sur un buzzer entre deux tubes opaques dans lesquels ils voyaient tomber des morceaux de fromage. Et les loups, qui devaient choisir le tube le plus rempli, ont très bien fait la différence entre 2 et 3 morceaux et entre 3 et 4. Deux ans plus tard, la même équipe a proposé cet exercice à 13 chiens. Qui ont échoué au test.

Les chercheurs pensent que cette perte de capacité pourrait être due à la domestication. Dans la nature, compter permet par exemple d'éviter d'affronter un groupe plus nombreux que le sien ou de faire les bons choix de chasse. « *Comparés aux loups, les chiens domestiques n'ont plus besoin de chercher leur nourriture, ils ont un endroit sûr pour dormir et même la reproduction est contrôlée par l'homme. Aussi sont-ils exclus de la sélection naturelle* », conclut Friederike Range, auteur principal de l'étude. **L. C.**

M. BREUER/BIOSPHOTO

« Canus lupus » a gardé des aptitudes utiles à sa survie dans la nature.

L'implant de silicone imite les propriétés de la dure-mère, la membrane protectrice tapissant l'intérieur du crâne et de la colonne vertébrale.

Un implant va faire remarcher les paraplégiques

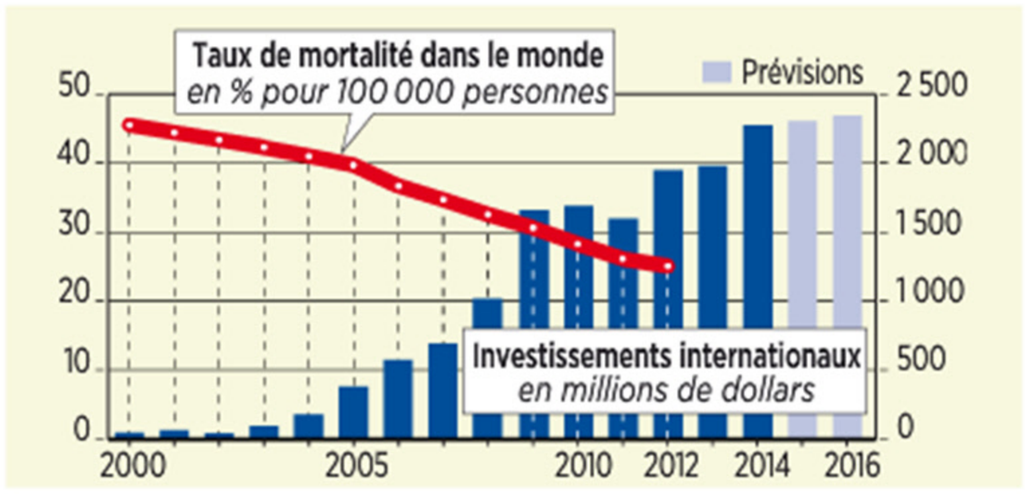
Après stimulation de la moelle épinière, des rats ont retrouvé l'usage de leurs pattes.

NEUROLOGIE Un implant neuronal, baptisé e-Dura par ses inventeurs, a permis à des rats paralysés de remarcher ! Cette prouesse, publiée dans *Science*, a été réalisée par l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Elle fait suite aux travaux de Grégoire Courtine, de l'EPFL, qui, en 2012, avait rétabli la locomotion de rats paraplégiques, en stimulant la moelle épinière lésée et en les soumettant à un entraînement physique soutenu (*lire* S. et A. *n° 785, juillet 2012*). Testé durant deux mois sur des rats, l'implant de silicone a accompagné les mouvements naturels de la moelle épinière sans être altéré ni perdre son efficacité. « *La stimulation chimique est assurée par des canaux microfluidiques qui délivrent les substances*, explique Stéphanie Lacour, du Centre de neuroprothèses de l'EPFL et coauteure de l'étude. *Les stimulations électriques sont, elles, réalisées par des pistes électroniques étirables, faites d'or craquelé, et des électrodes souples de 100 micromètres de diamètre réalisées dans un matériau nouveau (silicone et microbilles de platine)*. » Et les rats récupèrent la marche comme dans les expériences précédentes. L'objectif est désormais d'adapter cet implant à l'homme. **E. S.**

Le yoga, c'est bon pour le cœur

CARDIOLOGIE La pratique du yoga serait aussi bonne pour le cœur que le vélo, la marche rapide voire le jogging. C'est la conclusion d'une étude néerlando-américaine publiée dans la revue *European Journal of Preventive Cardiology.* Les données biologiques de près de 3000 adeptes ont révélé que non seulement la pratique de cette discipline s'accompagne d'une diminution du poids (en moyenne de 2,32 kg), mais aussi de la pression artérielle (-5 mm Hg), du taux de cholestérol et de la fréquence cardiaque (-5 battements par minute). **S. R.-M.**

PLAIN PICTURE



B. LAFON-SOURCE : OMS

47 % Le recul du paludisme entre 2000 et 2013

En 2013, ce sont encore 198 millions de cas de paludisme qui ont été recensés pour 584 000 décès (90 % en Afrique, parmi lesquels 78 % d'enfants de moins de 5 ans). La baisse du nombre de cas s'explique notamment par des mesures de prévention mieux appliquées. Près de la moitié de la population à risque avait en 2013 accès à une moustiquaire imprégnée d'insecticide, contre seulement 3 % en 2004. L. L.

Le prion, gardien de l'ADN

Modélisation de la protéine prion.

BIOLOGIE Plus de trente ans après la découverte de la protéine prion, on vient enfin de découvrir son rôle biologique : elle intervient pour préserver le patrimoine génétique des cellules lorsque celui-ci est lésé après un stress. Plus précisément, elle active un processus de réparation de l'ADN, un rôle particulièrement important pour des cellules ayant une longue durée de vie comme les neurones. **P. K.**

SOURCE : ANNE BRAVARD, INSTITUT DE RADIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE DU CEA, FONTENAY-AUX-ROSES.

LOOKATSCIENCES

Les étreintes protègent des rhumes

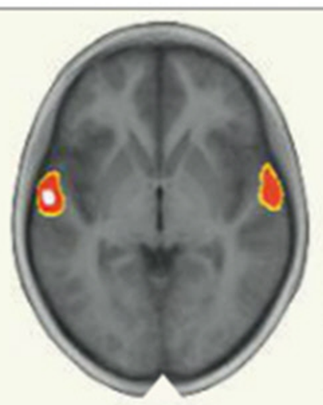
INFECTIOLOGIE **Une meilleure santé grâce aux étreintes, pourquoi pas ! Une étude chez 404 adultes en bonne santé exposés à un virus du rhume a révélé que plus ils ressentaient de soutien personnel, plus ils faisaient de *hugs* — accolades typiquement américaines — et moins les symptômes du rhume étaient sévères. E. S.**

SOURCE : SHELDON COHEN, CARNEGIE MELLON UNIVERSITY, PITTSBURGH, ÉTATS-UNIS.

On retient les langues dès la première année

NEUROLOGIE Le cerveau d'enfants chinois adoptés à l'âge de 1 an au Québec réagit encore dix ans plus tard aux tonalités propres à leur langue. Pourtant, les enfants adoptés ne parlent ni ne comprennent le chinois et n'ont entendu cette langue depuis leur plus jeune âge. Ces résultats expliqueraient pourquoi les enfants adoptés ont des facilités pour apprendre plus tard la langue de leurs parents biologiques. **P. K.**

SOURCE : LARA PIERCE, MCGILL UNIVERSITY, MONTRÉAL, CANADA.



PIERCE ET AL.

Quand l'enfant adopté entend la langue de sa mère biologique, son cerveau la reconnaît.

QUESTIONS À

Pr Arnaud Basdevant

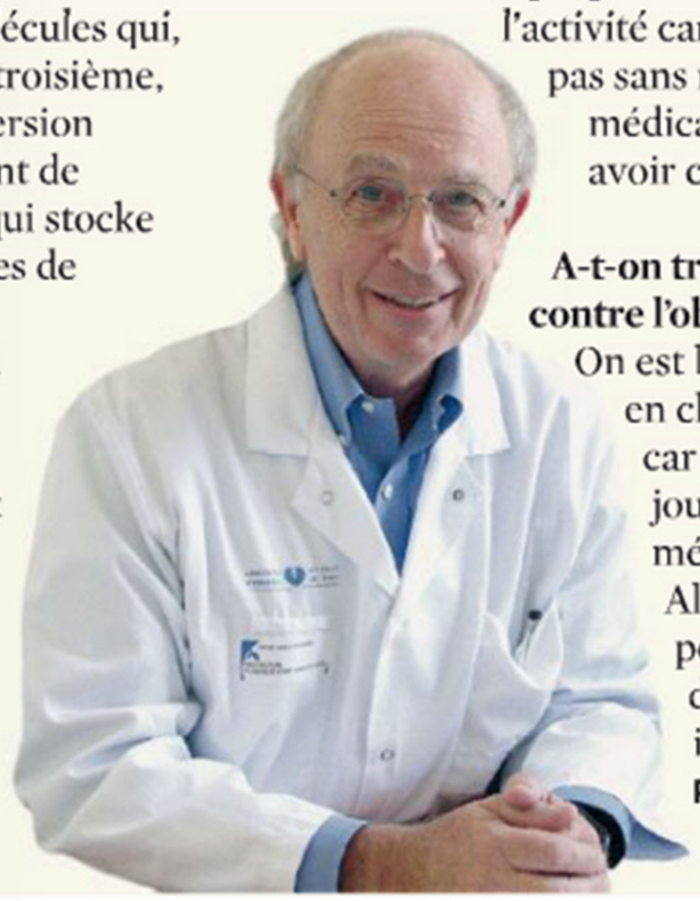
Chercheur au Centre de recherche et de médecine de l'obésité et professeur de nutrition à l'université Pierre-et-Marie Curie, à Paris

Un espoir pour les personnes obèses

Des chercheurs du Harvard Stem Cell Institute (États-Unis) sont sur la piste d'un médicament qui pourrait permettre de faire baisser de 30 % la graisse en excès.

Quel est le mode d'action de ce médicament ?
Il s'agit de deux molécules qui, en agissant sur une troisième, provoquent la conversion de cellules produisant de la graisse blanche (qui stocke les lipides) en cellules de graisse brune (qui brûlent les calories). Si ces résultats se confirment *in vivo*, ce médicament pourrait donc induire la transformation de cellules stockant la graisse en cellules capables de la brûler.

Ce mécanisme vient-il d'être découvert ?
Non, nous savons depuis vingt-cinq ans que stimuler la graisse brune représenterait une solution potentielle contre l'obésité. La noradrénaline [un neurotransmetteur], par exemple, a cette propriété, mais elle stimule l'activité cardiaque, ce qui n'est pas sans risque. Or ce nouveau médicament ne devrait pas avoir cet effet secondaire.



APHP

A-t-on trouvé une solution contre l'obésité ?
On est loin d'un transfert en clinique humaine, car la molécule ciblée joue un rôle clé dans les mécanismes immunitaires. Altérer son action pourrait provoquer des déficiences du système immunitaire du patient.

Propos recueillis par L. L.

PLAIN PICTURE

L'homme est prédisposé à la boisson

GÉNÉTIQUE Si l'homme apprécie l'alcool, c'est en raison d'une prédisposition génétique caractéristique des grands singes. Il y a 10 millions d'années, il a suffi d'une mutation pour qu'une enzyme devienne capable de s'attaquer spécifiquement à l'éthanol dans le tube digestif. Elle s'est produite alors que les forêts reculaient en Afrique de l'Est. L'ancêtre commun à l'homme au chimpanzé et au gorille a dû alors changer de régime alimentaire et se rabattre des fruits mûrs, le plus souvent fermentés et, donc, contenant de l'éthanol. **P. K.**

SOURCE : MATTHEW CARRIGAN, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY, ÉTATS-UNIS.

Pas d'antibiotiques après la chirurgie

GASTRO-ENTÉROLOGIE Les antibiotiques sont inutiles après le retrait de la vésicule biliaire (40 000 opérations chaque année en France). Une étude française vient de le montrer, du moins pour les formes bénignes, soit 90 % des cas. L'antibiothérapie n'aurait donc d'intérêt qu'avant ou pendant l'opération. **S. R.-M.**

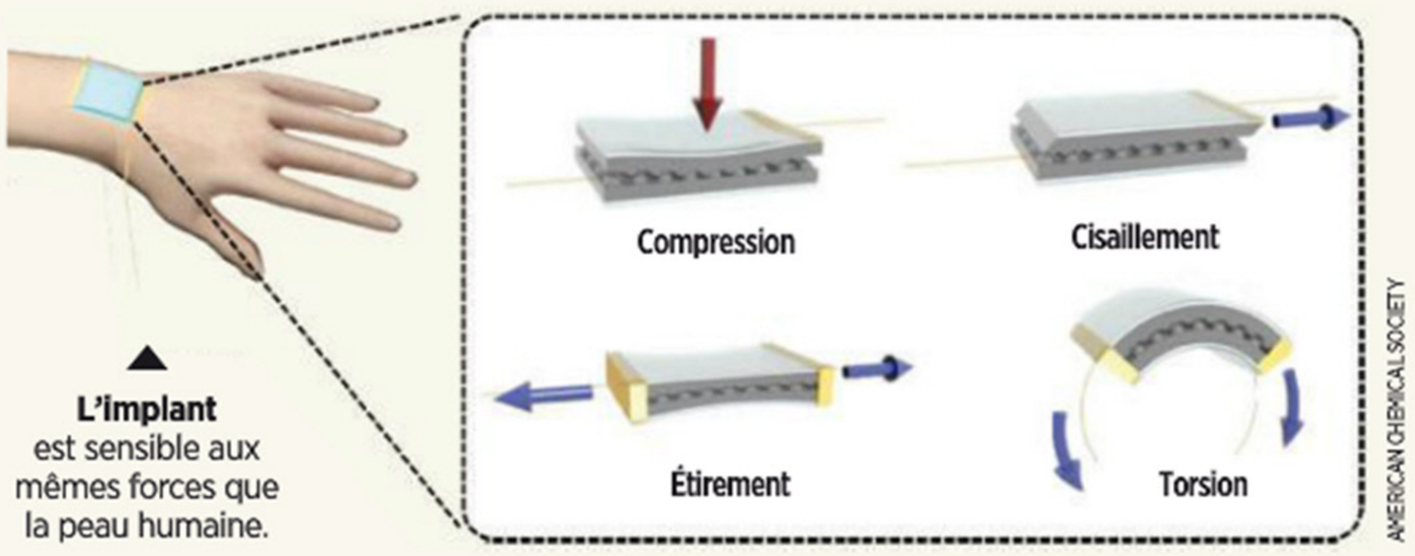
SOURCE : J.-M. REGIMBEAU, CHU D'AMIENS-PICARDIE.

EN BREF

OREILLES FRAGILES. Plus des trois quarts des 15-30 ans ont ressenti des troubles auditifs comme des acouphènes ou une perte d'audition à la suite d'une forte exposition sonore. **FRAUDE AVÉRÉE.** Haruko Obokata, la chercheuse japonaise à l'origine de la publication sur les cellules souches STAP a admis ne pas avoir réussi à reproduire ses expériences. **MUSIQUE THÉRAPEUTIQUE.** L'apprentissage d'un instrument chez les enfants a des effets structurels sur le cerveau corrélés à un meilleur contrôle des émotions.

Une peau artificielle sensible comme la vraie

PHYSIOLOGIE Une toute nouvelle peau artificielle, ultrasensible, inspirée de la peau humaine, a été créée par l'Ulsan National Institute of Science and Technology, en Corée du Sud. Composée d'une couche de microdomes octogonaux en nanotubes de carbone piézo-résistants (leur résistance électrique varie lors d'une contrainte mécanique) et d'une couche d'un polymère, cette peau réagit à toute une variété de contacts. Elle pourrait dans le futur notamment équiper des prothèses. **E. S.**



▲ **L'implant** est sensible aux mêmes forces que la peau humaine.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY

56 %

La part de « clics » sur Internet fait par des robots

AUTOMATIQUE La société de sécurité informatique Incapsula a étudié le trafic de 20 000 sites Web d'août à octobre 2014, soit 15 milliards de visites sur la période. Plus de la moitié de ces dernières sont le fait de « bots », c'est-à-dire des requêtes automatisées et non des consultations humaines. **A. D.**

Les avions hybrides consommeront 30 % de moins

AÉRONAUTIQUE Les chercheurs de l'université de Cambridge (Royaume-Uni) associés à Boeing ont testé en décembre le premier avion utilisant un moteur électrique directement couplé au moteur thermique. Ce petit démonstrateur monoplace économise ainsi jusqu'à 30 % de carburant. **O. H.**

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

JAGUAR LAND ROVER

Un système combinant caméras et écrans transforme les zones opaques en pare-brise virtuels sur les Jaguar.

Contre les angles morts, la voiture devient transparente

Un système de caméras et d'écrans intégrés dans les montants latéraux de la carrosserie assure au conducteur une visibilité continue à 360°.

AUTOMOBILE Le constructeur britannique Jaguar a dévoilé un concept de technologie qui permet de voir au travers des montants latéraux encadrant le pare-brise ou de ceux qui séparent les portières avant et arrière. Des caméras à l'extérieur de la voiture filment l'environnement. Lorsque véhicules, piétons et cyclistes s'apprêtent à disparaître momentanément derrière les montants, leur image y est projetée. Le système doit ainsi assurer une visibilité continue à 360°. Un dispositif qui rappelle celui dévoilé par Land Rover (qui appartient au même groupe que Jaguar) au salon automobile de New York en 2014 et qui permettait de voir « au travers » du capot par un système de projection sur le pare-brise (*lire* S. et A. *n° 808, juin 2014*).

La voiture transparente semble bien être une nouvelle tendance. Deux chercheurs japonais en design de l'université Keio à Tokyo proposent d'aller plus loin en rendant transparente la totalité de l'habitacle, de l'intérieur des portières à la banquette arrière. Dans leur prototype, encore rudimentaire, une toile blanche recouvre l'intérieur d'une Toyota Prius. Elle sert d'écran sur lequel est diffusé par rétroprojection le flux vidéo de caméras à l'extérieur de la carrosserie. **A. D.**

On va coloniser Vénus en ballons

ESPACE Une cité flottante de ballons à l'hélium de 130 m de long et alimentés à l'énergie solaire ! Il s'agit d'un programme très sérieux de la Nasa, baptisé Havoc (High Altitude Venus Operation Concept). Pas pour habiter au-dessus de la Terre, mais pour assurer une présence humaine permanente à 50 km au-dessus de la surface de Vénus, là où la température, la pression et les radiations sont plus supportables pour une telle mission. Il ne s'agit encore que d'un concept. **A. D.**

NASA

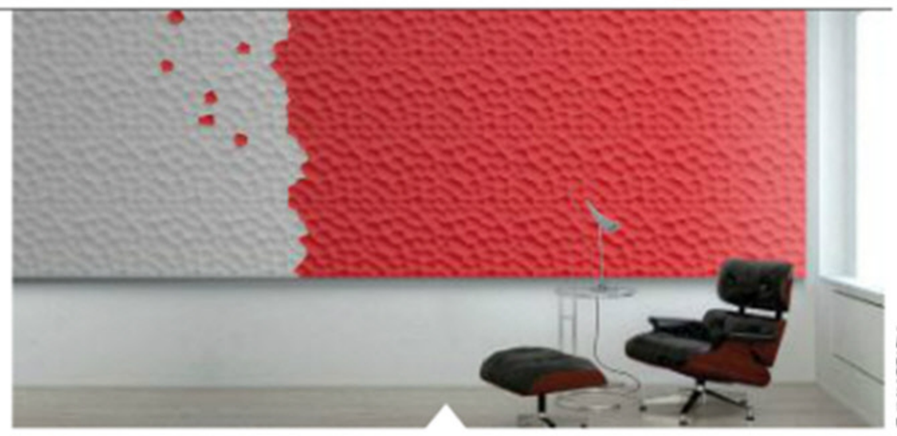
La Nasa a imaginé des ballons flottant à 50 km au-dessus de Vénus (vue d'artiste).

Le patch connecté qui soulage

MÉDECINE Un nouveau patch pourrait soulager les douleurs musculaires ou articulaires. L'université de science et technologie King Abdullah (Arabie saoudite) a présenté un prototype contrôlé par smartphone, flexible, étirable, qui utilise une série de petites résistances de cuivre en forme de « 8 » interconnectées pour créer de la chaleur. **E. S.**

Des empreintes digitales piratées à partir de photos

BIOMÉTRIE De simples photos prises en conférence de presse... Voilà qui aura suffi, en les assemblant et en les analysant, à un hacker allemand pour cloner l'empreinte digitale du pouce d'Ursula von der Leyen, la ministre allemande de la Défense. La démonstration vise à alerter sur l'illusion de sécurité offerte par les systèmes de protection d'accès reposant sur des lecteurs biométriques, notamment les modèles grand public, comme le « Touch ID » qui permet de déverrouiller les iPhone. **L. B.**



E-INK/PRISM

Des microcapsules contenant du liquide transparent et des pigments permettent de changer de couleur indéfiniment.

Le mur qui change de couleurs à la demande

Cette vaste surface souple fonctionne selon le principe de l'encre électronique.

MATÉRIAUX Un ovni ! Le hall d'accueil du Consumer Electronics Show (le plus grand salon dédié à la high-tech, qui s'est tenu à Las Vegas, aux États-Unis, début janvier) présentait un immense mur souple coloré à base d'« encre électronique » (E-Ink), capable de changer de teinte indéfiniment. Une prouesse réalisée par la société de Joseph Jacobson, chercheur au MIT et inventeur de l'E-Ink utilisée par les liseuses. Le mur contient des microcapsules remplies d'un liquide transparent dans lequel baignent des pigments de différentes couleurs chargés négativement et des pigments blancs chargés positivement. Lorsque le champ électrique est positif à la surface de la feuille, les particules colorées migrent vers la surface et deviennent visibles. Pour chaque pixel, la tension appliquée permet de déterminer la couleur d'affichage, plus ou moins intensément. Appelé Prism, le mur à l'aspect de peinture est formé de dalles souples, qui ne consomment de l'énergie que lorsqu'elles changent de couleur. **M. V.**

SUR LE WEB

Le « street view » des sons

INTERNET Conçu par trois spécialistes du son, Sound City Project immerge l'internaute dans l'environnement sonore de New York, Oslo, Stockholm, San Francisco, Flam ou Bergen (en Norvège). Divers sites ont été photographiés à 360°. Les sons ambiants correspondants ont été captés par quatre micros, distants les uns des autres comme le sont en moyenne deux oreilles. **A. D.**

HTTP://SOUNDCITYPROJECT.COM/

Ce vélo prévient les collisions

TRANSPORTS Un prototype de vélo électrique « intelligent » a été créé par un organisme de recherche néerlandais, la Netherlands Organization for Applied Scientific Research. Équipée d'un radar avant et d'une caméra arrière, la bicyclette se met à vibrer lorsqu'un obstacle surgit devant ou qu'un autre cycle arrive par l'arrière. Le prototype encore lourd (25 kilos environ) doit s'alléger. Son prix serait compris entre 1700 et 3200 €. **E. S.**

TNO

18e La place de la France dans le classement des pays les plus connectés

CLASSEMENT Le Danemark serait le pays le plus connecté au monde. Selon l'Union internationale des télécommunications, il passe devant la Corée du Sud. La France est loin derrière la Suède (3e), le Royaume-Uni (5e), les États-Unis (14e) et même Monaco (15e). **O. H.**

Une étiquette pour détecter les gaz toxiques

TOXICOLOGIE Collée sur un carton, cette « étiquette » développée par le MIT *(photo)* détecte toutes sortes de gaz. Le système repose sur une modification de la technologie sans fil NFC intégrée dans l'étiquette (comme dans certaines cartes de transports en commun). Les scientifiques ont ajouté des nanotubes de carbone dans ses circuits électriques. Il suffit de passer un smartphone au-dessus pour identifier le gaz concerné. **O. H.**

M. GONIK/MIT

Le mystère de la matière noire

Dossier réalisé par
Azar Khalatbari

Faute de la trouver, de plus en plus d'astrophysiciens envisagent de se passer de cette entité qui constituerait pourtant, avec l'énergie sombre, 95 % de notre univers. Une révolution ?

Imaginez un martien égaré sur Terre qui cherche à découvrir le plus gros mammifère de la planète : faute d'éléphant, on lui présente un bout de peau grise poilue et fripée. Comment fera-t-il pour deviner la forme du pachyderme au vu de ce minuscule échantillon de trompe ? Tel est le défi qu'affrontent aujourd'hui les cosmologistes qui, au bout de leurs télescopes, estiment n'observer que 0,5 % de l'Univers, la part qui brille. Elle-même ne représentant qu'un dixième de la matière ordinaire, environ 5 % du cosmos *(voir l'infographie p. 30)* ! Pour expliquer le ciel, depuis plusieurs décennies, les astrophysiciens se sont ainsi retrouvés à devoir postuler l'existence de deux entités, des plus mystérieuses : une « matière noire », invisible, et une « énergie sombre » énigmatique. Deux inconnues qui formeraient donc 95 % de l'Univers...

Mais aujourd'hui, de plus en plus de voix s'élèvent, notamment en France mais aussi en Pologne, en Finlande, en Israël et aux États-Unis, pour envoyer les deux au diable. Selon ces chercheurs, matière noire et énergie sombre ne seraient qu'illusion. En réalité, elles n'existeraient même pas ! À les entendre, le contenu de l'Univers ne se résumerait qu'à ce que nous observons. Est-ce possible ? Pour l'heure, ceux qui y travaillent ne sont *« pas encore assez nombreux pour changer la donne*, estime Françoise Combes, de l'observatoire de Paris. *Il est toujours difficile de rompre avec un dogme établi. » (Lire p. 34.)* Et quel dogme ! Ce sont à des principes considérés jusque-là comme sacro-saints que les théories avancées par ces cher- ▶

Cette représentation d'un superamas de galaxies d'une dimension de quelques centaines de millions d'années-lumière tient compte uniquement de la masse visible et de la courbure de l'espace qu'elle provoque. Si l'on intégrait cette courbure dans les modèles, on pourrait se passer, en partie ou en totalité, d'énergie noire et de matière sombre.

KENN BROWN

COURTESY T. BUCHERT

« Il est temps de tenir compte de l'effet des grandes structures de l'Univers »

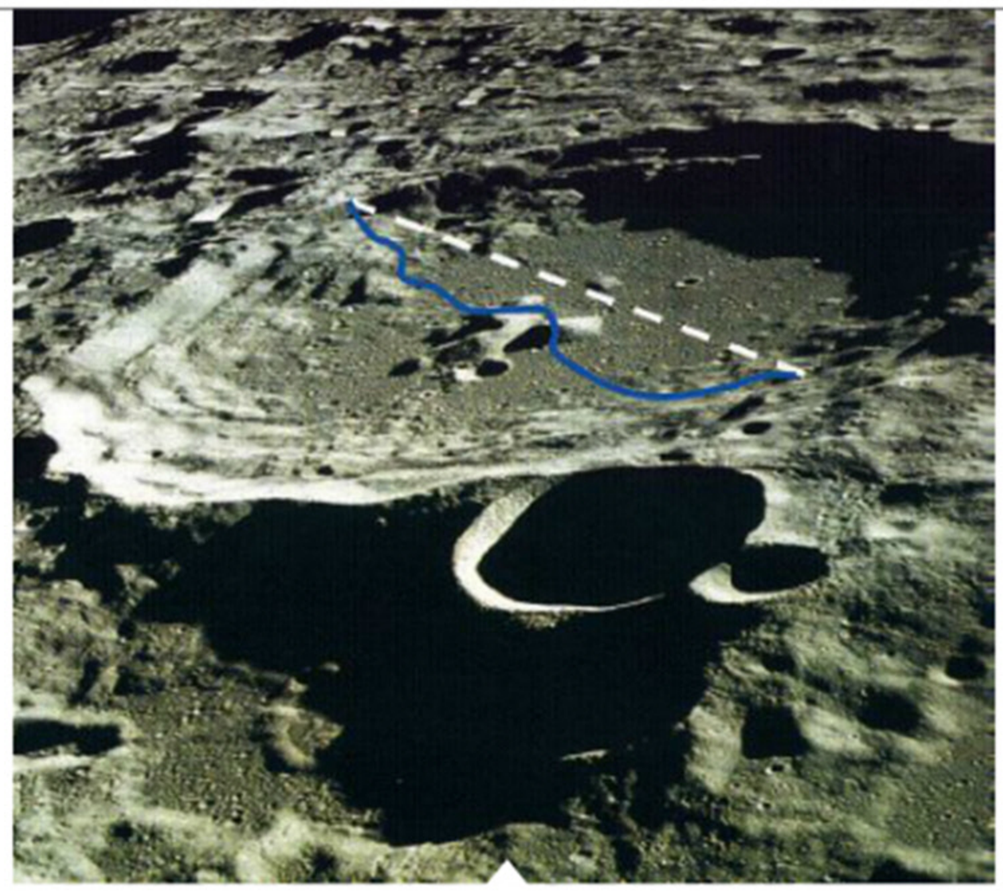
Thomas Buchert, astrophysicien au Centre de recherche astrophysique de Lyon, auteur d'une cosmologie non standard

cheurs iconoclastes obligent à renoncer : la loi de la gravitation universelle du grand Newton, ou l'hypothèse fondatrice de la cosmologie actuelle, à savoir le caractère homogène de l'Univers.

Des étoiles solidaires grâce à une masse cachée

Pour comprendre, commençons par rappeler ce à quoi ressemblent les deux monstres cosmiques mis au pilori. L'hypothèse de la matière noire remonte aux années 1970, lorsque l'astrophysicienne américaine Vera Rubin, aujourd'hui âgée de 88 ans, décide d'étudier la vitesse des étoiles dans des galaxies spirales en rotation, comme Andromède. Stupeur ! Elle découvre que, si l'on tient compte uniquement de la gravité exercée par la matière présente, les étoiles en périphérie devraient s'échapper de leur galaxie sous l'effet de la force centrifuge. Il manquerait jusqu'à dix fois la masse visible pour retenir ces étoiles. Pour qu'elles demeurent solidaires, une « masse cachée » devient indispensable : l'énigme de la « matière noire » vient de naître. Non sans polémiques. Mais l'astrophysicienne et son équipe s'obstinent et confirment leurs résultats sur 200 autres galaxies.

Trois décennies plus tôt, en 1933, Fritz Zwicky, physicien suisse d'origine bulgare établi aux États-Unis, avait fait le même constat d'un déficit de matière dans les amas de galaxies, mais à l'époque ses travaux n'avaient pas été pris au sérieux. Le constat finit par s'imposer : dans la structure même de l'Univers — le fait que les étoiles se regroupent dans des galaxies et que ces dernières s'accumulent dans des amas — règne une matière invisible à l'importance considérable. Reste à la découvrir. « *Jusque dans les années 1980, nous la cherchions sous la forme de matière ordinaire, celle qui compose les étoiles et les planètes*, se souvient Françoise Combes.


NASA

À l'instar de la Lune, dont les inhomogénéités de surface impactent la quantité de lumière solaire réfléchie, il faut intégrer la distribution inhomogène des astres pour expliquer l'Univers.

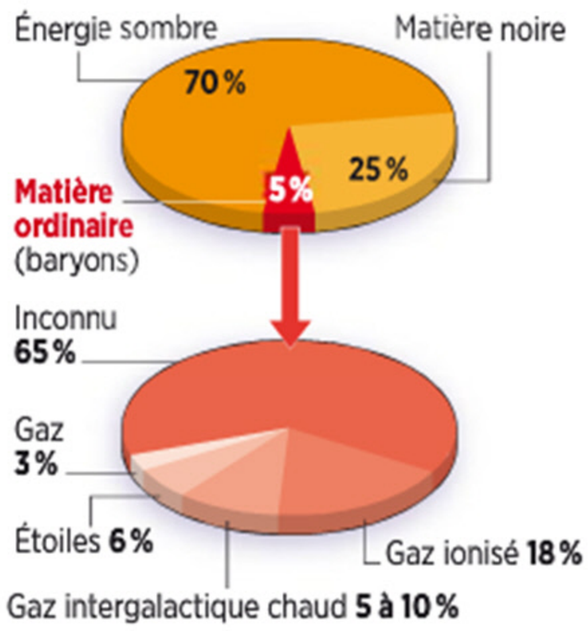
À partir de 1984, commence même la traque d'autres candidats plus exotiques : « *Des objets compacts et obscurs, comme des naines brunes, qui seraient nichés dans le halo des galaxies, baptisés Macho (Massive Compact Halo Object) semblaient appropriés. Une campagne de recherche systématique baptisée Eros, qui a été menée pendant une dizaine d'années, s'est achevée sans résultat* », poursuit Françoise Combes. Qu'à cela ne tienne, les chercheurs tentent d'autres solutions : la matière invisible ne se dissimulerait-elle pas sous la forme de particules ? Pourquoi pas les neutrinos émis à chaque réaction nucléaire au cœur des étoiles : notre corps est ainsi traversé à chaque seconde par 100 000 milliards (10^{14}) d'entre eux, en provenance du Soleil. Quand en 1998, l'expérience japonaise de super-Kamiokande décèle que ces particules ont une masse, les astrophysiciens pensent enfin tenir un candidat sérieux... jusqu'au moment où ils se rendent compte que cette masse est bien trop petite, infime même : 1 million de fois moins que celle d'un électron, particule de matière.

À la recherche de candidats plus exotiques

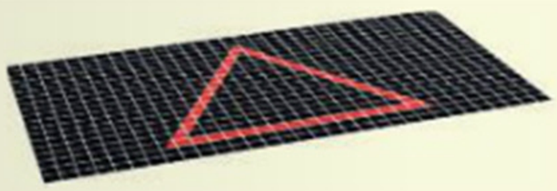
Même très nombreux, les neutrinos ne feraient pas le poids. Existerait-il alors d'autres candidats plus exotiques ? Par exemple des particules massives très fugaces, rebaptisées pour l'occasion wimps (*weakly interacting massive particles*, « particules interagissant très peu avec la matière ordinaire »), à l'existence toute hypothétique. Aujourd'hui, malgré toute l'ingéniosité des expériences, force est de constater qu'aucun wimp n'a été signalé...

Quant au deuxième monstre cosmologique, *alias* l'« énergie sombre », c'est en 1998 qu'il surgit, lorsque les deux Américains Adam Riess et Saul Perlmutter et leur collègue australien Brian Schmidt étudient des étoiles lointaines en cours d'explosion, appelées supernovae. Selon leurs mesures, ils observent que non seulement l'Univers est en expansion — ce que l'on sait depuis 1929 et les travaux du célèbre Edwin Hubble — mais que cette expansion est accélérée au fil du temps. Comme si l'espace était écarté de plus en plus rapidement par une force inconnue, qu'ils nomment « énergie sombre ». Cette affirmation, ils la fondent sur une particularité bien étudiée de la lumière émise par ces supernovae. Elle leur vaut le prix Nobel ▶

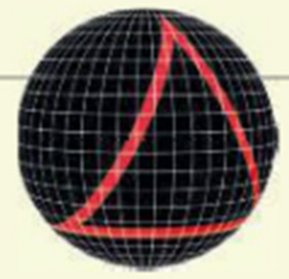
Que contient l'Univers ?



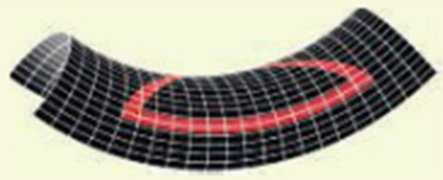
Les dernières estimations (en haut) indiquent que l'énergie sombre compte pour près de 70 % du contenu de l'Univers, la matière noire 25 % et la matière ordinaire seulement 5 %. Au sein de celle-ci (en bas) les étoiles et le gaz interstellaire ne représentent que 9 %, soit au total 0,5 % du contenu de l'Univers.



COURBURE NULLE DE L'ESPACE Celui-ci est alors plat, « euclidien », et obéit aux lois de la géométrie classique, comme le fameux théorème de Pythagore : la somme des angles d'un triangle y est de 180°.



COURBURE POSITIVE l'espace possède alors une « géométrie sphérique » et ressemble à un ballon où la somme des angles d'un triangle y est supérieure à 180°.

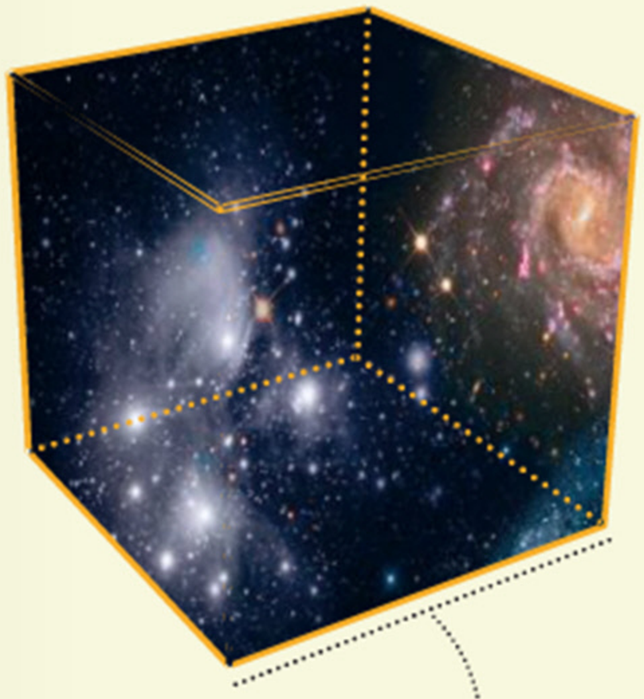


COURBURE NÉGATIVE Dans cette figure, l'espace possède une « géométrie hyperbolique » et ressemble à une selle de cheval où la somme des angles d'un triangle est inférieure à 180°.

Peut-on tester le principe cosmologique ?

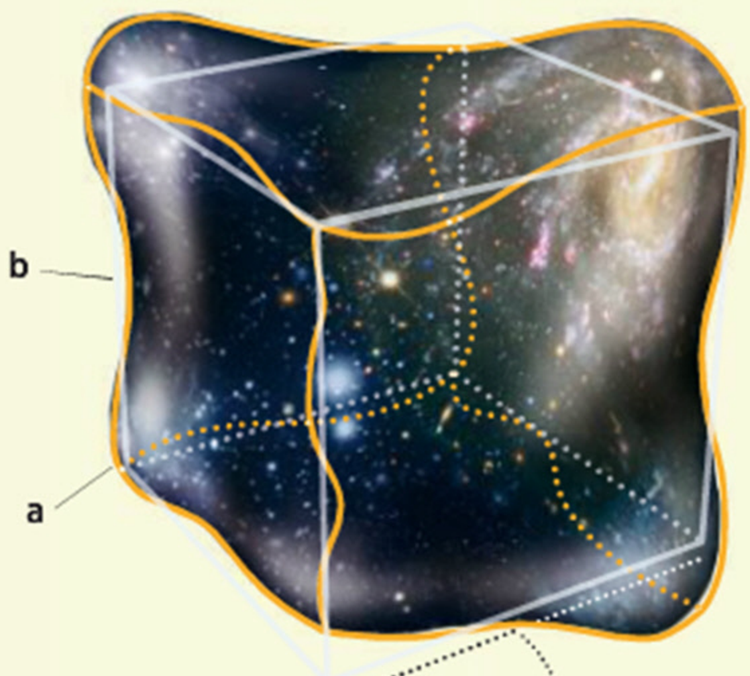
La cosmologie standard, celle qui aboutit à l'hypothèse de la matière noire et de l'énergie sombre est fondée sur le « principe cosmologique ». Il stipule qu'à grande échelle, l'Univers est homogène et isotrope. Homogène signifie que statistiquement une portion assez grande de l'espace — par exemple supérieure à un amas de galaxies — contient autant de matière qu'une autre. Isotrope, que sa structure est la même dans toutes les directions. Mais ce principe, qui simplifie beaucoup les équations d'Einstein, *« est invérifiable, car nous ne pouvons observer qu'une portion de l'espace »*, explique Jean-Philippe Uzan, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Alors les physiciens se raccrochent au principe copernicien, lié à notre position dans l'Univers et qui énonce que *« nous ne sommes pas dans une région particulière de l'espace »* ou encore que *« l'Univers n'a pas de centre »*. Les futurs instruments (télescope spatial Euclid, de l'ESA, prévu en 2020 ; télescope géant européen E-ELT, prévu en 2018) devraient permettre de le vérifier. Mais considérant l'hypothèse cosmologique comme une trop grande approximation conduisant artificiellement à supposer matière noire et énergie sombre, des scientifiques n'hésitent plus à ouvrir de nouvelles pistes de recherche, comme la cosmolgie relative et inhomogène.

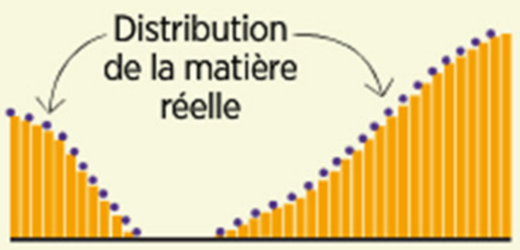
1. L'UNIVERS HOMOGÈNE



Le contenu en matière d'un volume d'espace (ci-contre) est statistiquement identique au contenu de tout autre volume. Une coupe de ce cube (au milieu) permet de représenter la distribution en matière (en bas). La cosmologie standard ne tient compte que de la moyenne de cette distribution, qu'elle considère homogène. Ce faisant, elle en déduit que les parois du cube sont rigides : une approximation qui serait à l'origine de l'hypothèse de la matière noire et de l'énergie sombre.

2. L'UNIVERS NON HOMOGÈNE ET RELATIVISTE





MEHDI BENYEZZAR POUR SCIENCES ET AVENIR

Deux volumes d'espace ne contiendraient pas la même répartition de matière, et de ce fait, selon la relativité générale, ne déformeraient pas l'espace de la même manière (en haut). Les régions denses créent une courbure positive (a) et simulent l'effet de la matière noire. Les régions contenant peu de matière créent une courbure négative (b) et miment l'énergie sombre. Dans les calculs, c'est la répartition réelle de la courbure qui est prise en considération (en bas).

La matière noire traquée depuis plus de 80 ans

BETTMAN / CORBIS

1933

Fritz Zwicky découvre le phénomène

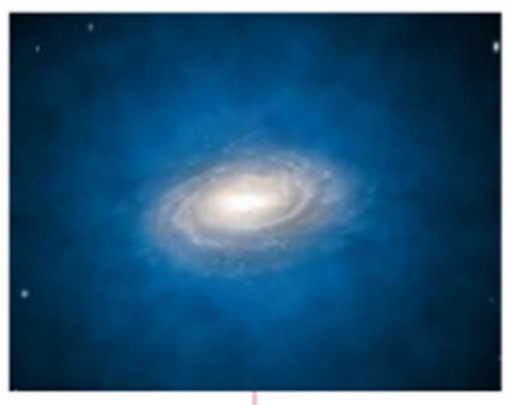
Le Suisse Fritz Zwicky étudie l'amas de galaxies de la Chevelure de Bérénice. Il constate que la vitesse des galaxies est si élevée que l'amas aurait dû se disloquer. Cette irrégularité n'est pas expliquée.

SLP / COSMOS

1970

Vera Rubin la confirme

L'Américaine Vera Rubin étudie la rotation de la galaxie d'Andromède et trouve que la vitesse des étoiles périphériques est telle qu'elles auraient dû s'échapper de la galaxie. Si elles sont solidaires, c'est parce qu'une « masse invisible » les retient, conclut-elle.


ESA

1980

La matière noire est quantifiée

Alors que l'existence de cette « masse invisible » est débattue, la mesure est confirmée sur de nombreuses galaxies. L'hypothèse qu'il manque 90 % de la masse des galaxies commence à être acceptée : on se met alors à rechercher cette « matière noire ».

SIPA

1984

L'hypothèse des astres sombres

La matière noire est traquée sous la forme d'astres sombres n'émettant aucune lumière et donc invisibles. Une campagne débute baptisée Eros (Expérience de recherche d'objets sombres) pour la recherche de ces astres.

à tous trois en 2011. Sauf que *« nous ne connaissons aucune substance même exotique, dont l'action serait d'écarter l'espace »*, constate aujourd'hui Marc Lachièze-Rey, du laboratoire Astroparticules et Cosmologie de l'université Paris-Diderot. Bien sûr, les théoriciens ont fait marcher leur imagination. Ils ont envisagé l'action d'une entité très particulière telle « l'énergie du vide », cette énergie invisible qui permet, dans les accélérateurs, la matérialisation de certaines particules. Problème : pour répondre au problème cosmologique, il faudrait que le vide envisagé soit incommensurablement plus modeste que celui des physiciens des particules... *« 10^{120} fois* [c'est-à-dire 1 suivi de 120 zéros] *moins énergétique »*, précise-t-il. Il se pourrait aussi qu'on ait affaire à une autre entité, celle déjà proposée dans ses équations par Albert Einstein en 1917 : la constante cosmologique. À l'époque, pensant l'Univers statique, le célèbre physicien avait ajusté sa valeur de manière à contrebalancer l'attraction de la matière. Mais elle est peut-être autre ! *« Dotée de la bonne valeur, elle rendrait compte de l'effet répulsif de l'énergie sombre : elle ferait enfler l'espace à des échelles supérieures à 4,5 milliards d'années-lumière »*, fait remarquer Marc Lachièze-Rey. Une hypothèse à laquelle adhèrent de plus en plus d'astrophysiciens.

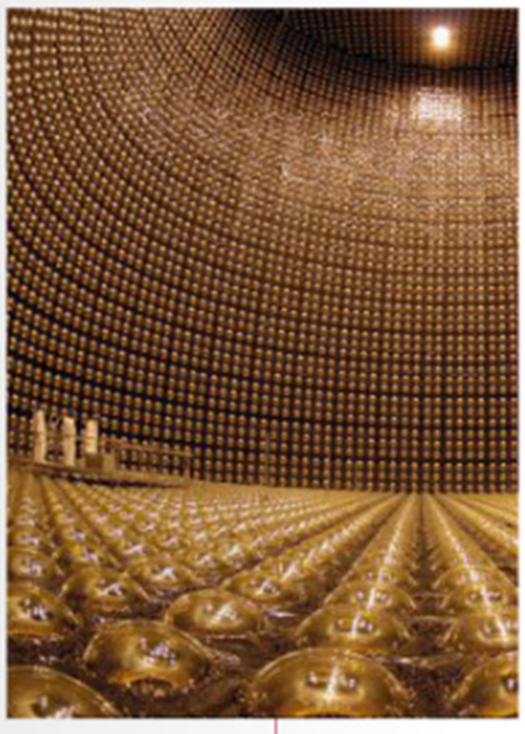
Alors que la course à ces deux ingrédients majeurs — que l'on rassemble parfois sous le nom d'Univers sombre — n'a cessé de s'accélérer, certains scientifiques ont fini par tout simplement décider de dire stop. Et de les supprimer. Pour ce faire, ils avancent une idée plus qu'audacieuse : l'Univers ne serait pas homogène.

Ce qui revient à remettre en question rien de moins qu'un des principes fondateurs des modèles actuels. De fait, les grands relevés observationnels — comme le Sloane Digital Sky Survey,

EDITION DUNOD

« Nous ne connaissons aucune substance même exotique dont l'action serait d'écarter l'espace »

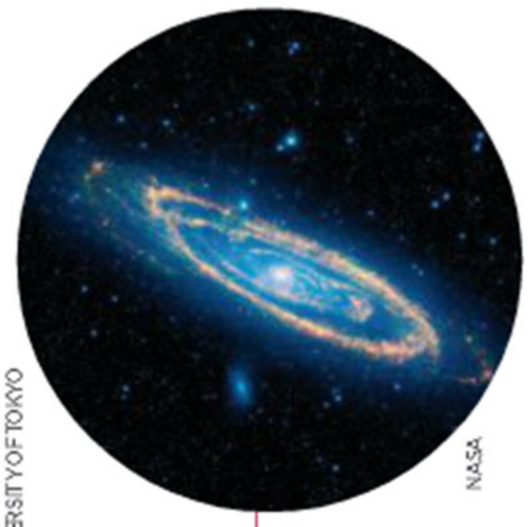
Marc Lachièze-Rey, astrophysicien au laboratoire Astroparticules et Cosmologie de l'université Paris-Diderot


ICRR, UNIVERSITY OF TOKYO

1998

Les neutrinos sont disqualifiés

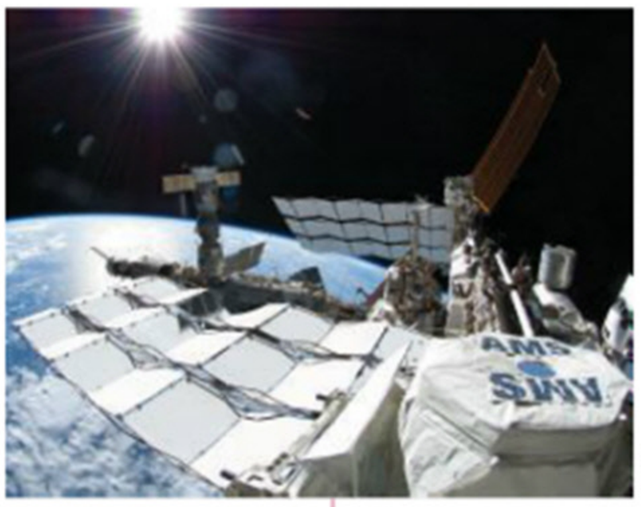
Le détecteur super-Kamiokande, au Japon *(photo)* découvre une masse aux neutrinos. Cette particule, qui était jusqu'alors considérée comme dépourvue de masse, devient un candidat à la matière noire, mais, très vite, sa masse est déclarée trop faible.


NASA

2003

Les astres sombres sont aussi écartés

Le programme européen Eros est arrêté faute de résultats. On en conclut que la matière noire n'est pas sous forme de matière ordinaire.



NASA

2006

La voie des particules massives

L'hypothèse que la matière noire soit formée de particules massives a le vent en poupe : les wimps (*weakly interacting massive particles*) commencent à être recherchés tous azimuts, notamment par l'expérience AMS installée à bord de l'ISS *(photo)*.

CERN

2015

La recherche continue

Jusqu'à aujourd'hui de nombreuses expériences cherchent les wimps : depuis l'espace, dans les glaces des Pôles, ou les laboratoires souterrains ou encore au Cern *(photo)* sous forme d'une nouvelle classe de particules.

(SDSS), débuté en 2000 à l'observatoire d'Apache Point au Nouveau-Mexique, semble bel et bien apporter la preuve de pareille « inhomogénéité » : de grandes régions exemptes de galaxies — telles des bulles — côtoient d'autres où les astres s'agglutinent en murs et filaments *(lire l'encadré p. 31)*.

Une nouvelle cosmologie baptisée non homogène

En d'autres termes, un immense cube pris au hasard dans l'Univers n'aurait pas un contenu similaire à celui d'un autre cube pris ailleurs, contrairement à ce qu'affirme jusqu'à aujourd'hui la cosmologie standard, qui prône l'homogénéité *(voir l'infographie p. 31)*. C'est sur cette base qu'au Centre de recherche astrophysique de Lyon, Thomas Buchert a proposé en 2000, à partir des travaux de George Ellis, de l'université du Cap en Afrique du Sud, une nouvelle cosmologie baptisée « relativiste et non homogène ». Et ce qu'elle apporte est potentiellement révolutionnaire. Une fois prise en compte la présence des grandes structures de l'Univers, disparaît le besoin de matière noire et d'énergie sombre : *« Là où la matière est dense, l'espace adopte une courbure positive, comme la rotondité de surface d'un ballon, et cela simule l'effet de la matière noire. Les zones très peu denses, ces gigantesques bulles de vide, adoptent, elles, une courbure négative comme le creux d'un vallon qui mime l'effet d'une force répulsive — autrement dit l'énergie sombre »*, explique Thomas Buchert.

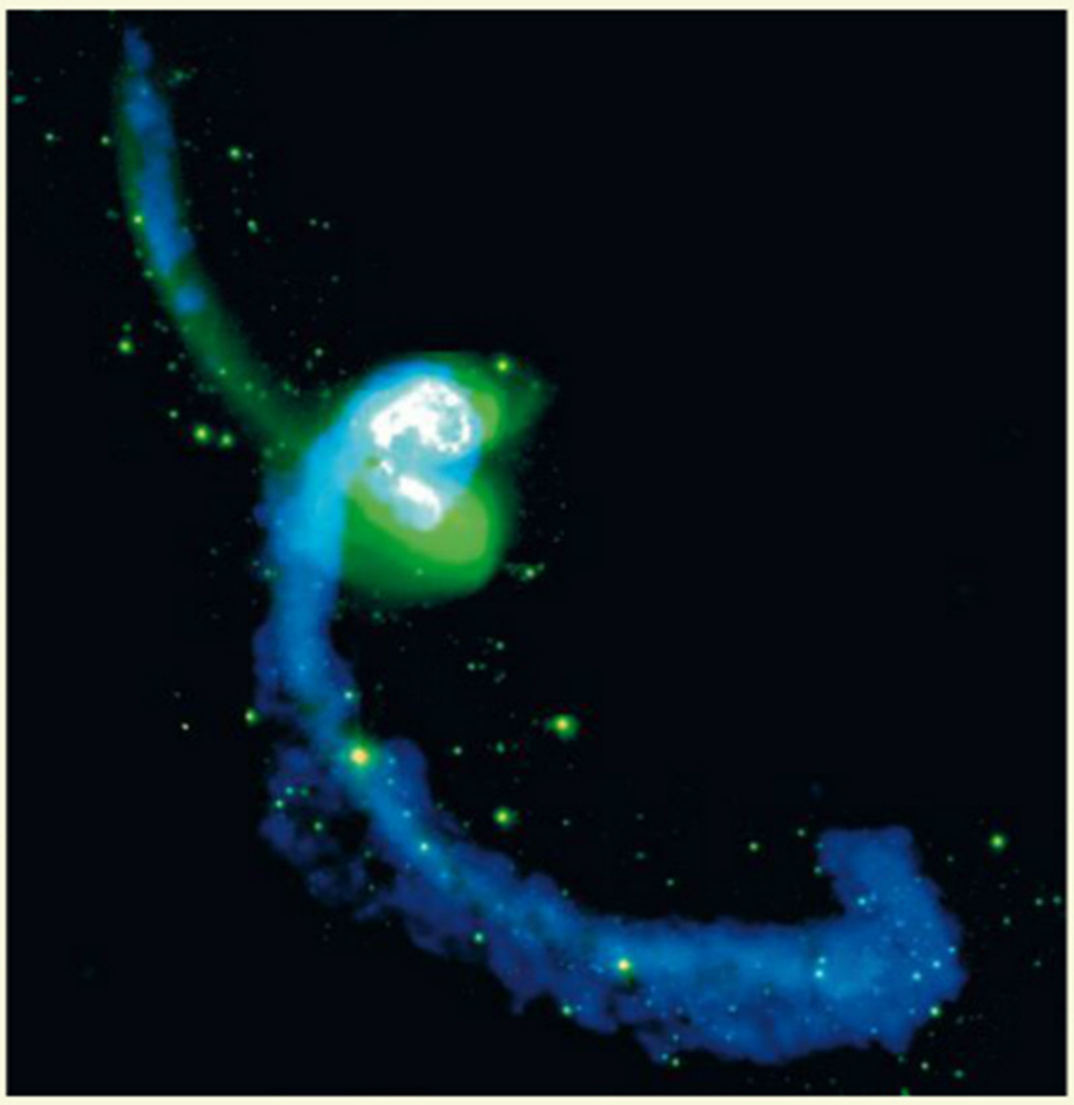
Pour faire comprendre sa théorie, le chercheur prend volontiers l'exemple de la Lune : *« Avant les missions lunaires, les planétologues avaient calculé le pourcentage de la lumière solaire réfléchi par la Lune, son albedo, et trouvaient curieusement un déficit de luminosité. Fallait-il en conclure à l'existence d'un objet mystérieux faisant écran entre la Lune et la Terre ? »* L'histoire a montré que non. Et Thomas Buchert d'expliquer que *« les calculs supposaient une Lune tout à fait lisse et homogène. Or, la surface de notre satellite est parsemée de cratères, avec des bords qui réfléchissent différemment la lumière. En tenant compte de ces inhomogénéités, les choses sont rentrées dans l'ordre, pas besoin d'envisager l'existence d'objets mystérieux »*. Selon lui, il en irait de même pour l'Univers. L'hypothèse orthodoxe d'homogénéité *« permet de simplifier considérablement les équations d'Einstein, mais elle demeure une approximation, qui nous oblige à envisager l'existence*

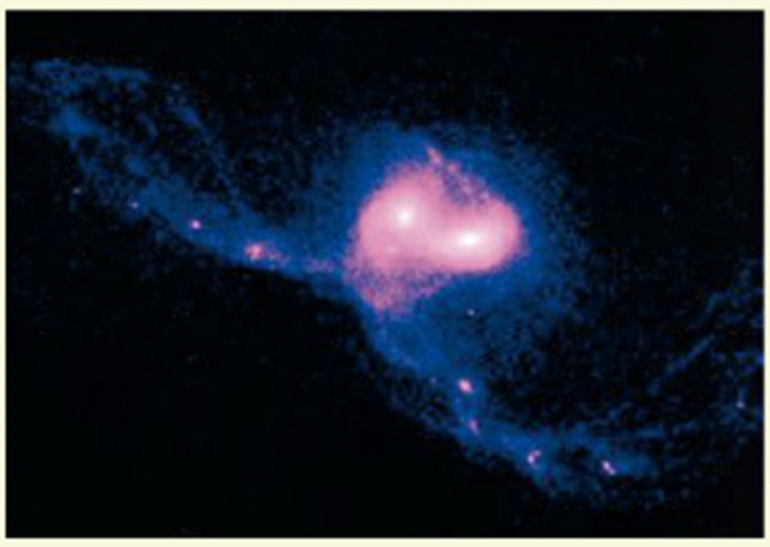
D. GOUPY / SIGNATURES

INTERVIEW

FRANÇOISE COMBES, ASTROPHYSICIENNE

« Osons modifier la loi de Newton »





HOTOS: NRAO/ AUI AND J. HIBBARD - TIRET & COMBES 2008

TIRET & COMBES 2008

Deux simulations numériques (à droite) représentent la forme qu'auraient les galaxies des Antennes dans un univers régi par la loi de Newton tel que le suppose la cosmologie standard (en haut) et au sein d'un cosmos qui obéirait à une loi de la gravitation modifiée comme MOND (en bas). Les deux simulations reproduisent assez fidèlement l'image réelle (à gauche).

Françoise Combes, membre de l'Académie des sciences, vient d'être élue au Collège de France à la chaire Galaxies et Cosmologie. Spécialiste de la matière noire, elle a mené une grande partie de sa carrière à l'observatoire de Paris où elle a étudié la formation et l'évolution des galaxies et établi la part de la matière noire pour chaque modèle théorique. Lors de sa leçon inaugurale le 18 décembre 2014, elle a ainsi évoqué la théorie MOND (Modified Newtonian Dynamics) — à laquelle elle a consacré des simulations numériques avec son équipe — qui propose de modifier la loi de Newton afin de se passer de l'hypothèse de la matière noire.

L'hypothèse de la matière noire, que les astrophysiciens cherchent depuis plusieurs décennies, n'a-t-elle pas du « plomb dans l'aile » ?
C'est encore le modèle adopté par la majorité, mais de plus en plus d'astrophysiciens se demandent s'il faut toujours prendre en considération cette hypothèse. Une alternative est la théorie MOND élaborée par Mordehai Milgrom en 1983 qui propose de modifier la loi de Newton à très grande distance. Cette théorie ne change rien à la physique du quotidien, celle utilisée sur Terre et pour l'espace que nous explorons. Ainsi, nul besoin d'en tenir compte pour l'orbite des satellites et l'envoi de sondes interplanétaires, puisque à ces distances, la loi de Newton reste toujours valable. MOND ne commence à s'appliquer qu'à l'échelle des galaxies.

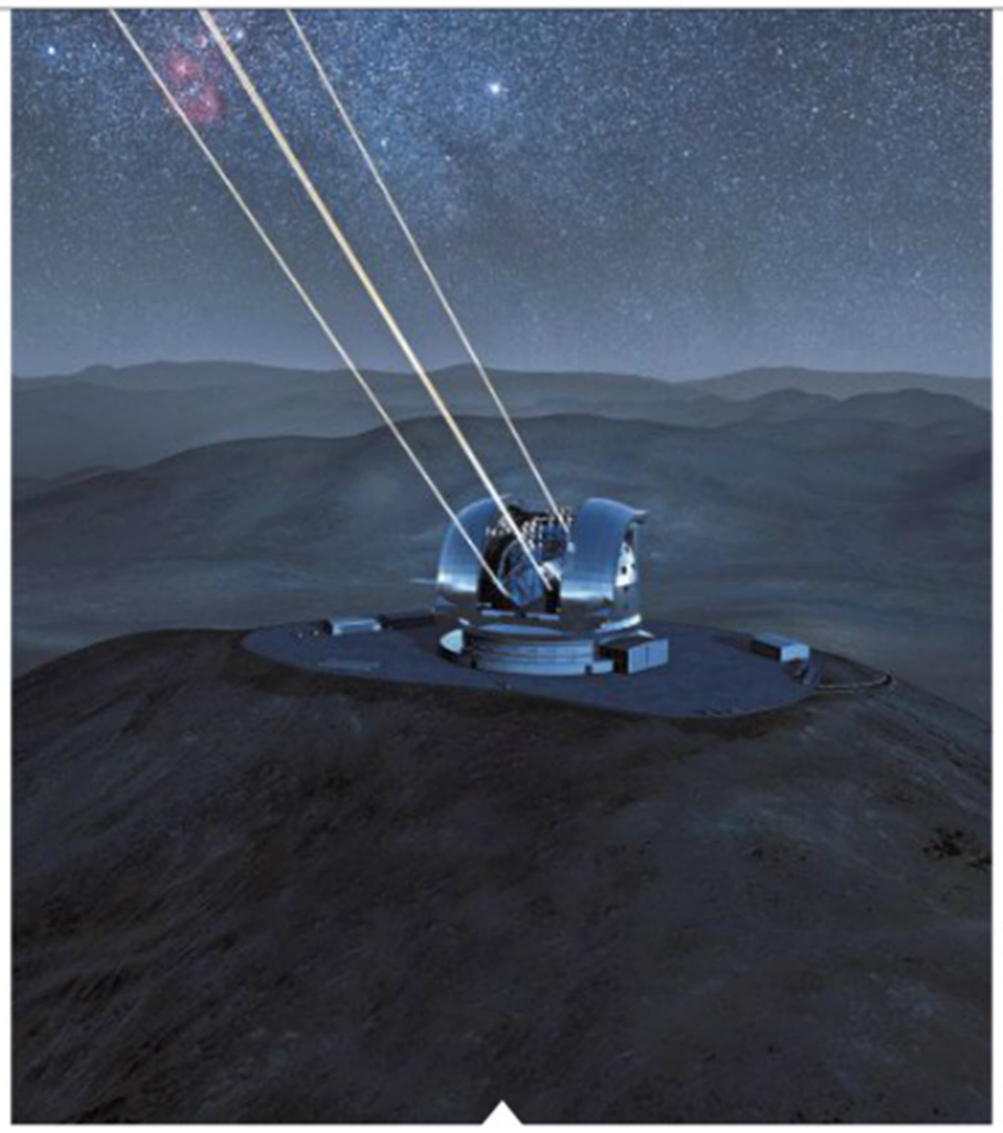
N'est-il pas gênant de changer ainsi une loi fondamentale comme celle de Newton pour élaborer une nouvelle théorie « sur mesure » ?
En effet, MOND nécessite une modification *ad hoc*, ce qui peut nous heurter car nous avons alors le sentiment de toucher à un monument de la physique. Mais il faut savoir qu'en son temps Newton a lui-même procédé ainsi. En effet, c'est à partir d'observations qu'il a élaboré une loi permettant de rendre compte du mouvement des astres. Faisons à notre tour le pari de Newton. Partons des observations pour élaborer une loi, et ne cherchons plus, comme nous l'avons fait jusqu'alors, à imaginer le contenu de l'Univers à partir des lois établies en d'autres temps. Bien sûr, peu de chercheurs travaillent encore dans cette direction, car les grands programmes de recherche de matière noire mobilisent actuellement beaucoup d'équipes *(voir pp. 32-33)*.

Pourtant une loi physique ne doit-elle pas avoir une signification profonde sur la structure du monde ?
Tout à fait, mais on peut comprendre la signification de cette loi après l'avoir élaborée. Aujourd'hui, la physique bute sur une nouvelle théorie de la gravitation qui engloberait à la fois la relativité générale d'Einstein — qui s'applique aux grandes échelles de l'Univers — et la physique quantique à l'œuvre à l'intérieur de l'atome. Des théories de gravité modifiée comme MOND peuvent-elles nous indiquer dans quelle direction chercher ? Peut-être...

Propos recueillis par A. Kh.

de la matière noire et de l'énergie sombre », rappelle-t-il. Il serait temps de passer à plus raffiné. « *Certes,* [l'hypothèse d'inhomogénéité] *complique beaucoup les équations… mais c'est peut-être le prix à payer pour se passer de cet univers sombre* », argumente le chercheur. En 2009, ce modèle a marqué un point : en tenant compte de l'effet des grandes structures, le chercheur finlandais Syksy Rasanen est en effet parvenu à expliquer la position des supernovae de Riess, Perlmutter et Schmidt sans faire appel à l'hypothèse de l'énergie sombre.

Reste que ce modèle, aussi séduisant soit-il, doit encore « *être testé de manière quantitative* », reconnaît Thomas Buchert. Exemple de point crucial à vérifier : « *Est-ce que l'effet de la courbure de l'espace permet de reproduire la valeur de la vitesse des étoiles périphériques dans les galaxies ?* » comme l'avait constaté naguère Vera Rubin. Les calculs sont en cours.



ESO

Le futur télescope ELT, prévu en 2018 au Chili, permettra de vérifier l'hypothèse de l'homogénéité de l'Univers (vue d'artiste).

Des travaux des années 1980 remis au goût du jour

D'autres propositions théoriques, encore en discussion, remettent au goût du jour des travaux remontant aux années 1980 qui, déjà, comptaient bien faire passer la matière noire à la trappe. Une de ces théories — développée par Mordehai Milgrom, de l'Institut Weismann à Rehovot, en Israël — et qui fit alors pousser de hauts cris, proposait dès 1983 de… légèrement modifier la loi de Newton ! Baptisée MOND (Modified Newton Dynamics), elle consiste à énoncer que la loi habituelle d'attraction gravitationnelle en $1/r^2$ (deux masses s'attirent de manière inversement proportionnelle au carré de leur distance r) ne vaut qu'à l'intérieur d'un certain rayon. Au-delà, dans une zone où l'attraction gravitationnelle a chuté à une valeur cent milliards de fois plus faible que sur Terre, c'est une loi en $1/r$ qui prévaut. La démarche de MOND est-elle acceptable en science, même si elle touche à l'un des piliers de la physique depuis le XVII[e] siècle ? « *Jusque-là nous avons changé le contenu de l'Univers, rajouté des ingrédients hypothétiques que nous recherchons toujours* [matière noire et énergie sombre], *peut-être qu'il faut modifier les lois* », assume Luc Blanchet, de l'Institut d'astrophysique de Paris.

Alors le tour serait-il joué et les problèmes résolus ? « *Oui, cela rend parfaitement compte de la vitesse des étoiles périphériques dans de nombreuses galaxies*, dit Françoise Combes. *Comme l'ont démontré depuis les années 2000, Bob Sanders, de l'université de Groningue (Pays-Bas), Benoît Famaey, de l'observatoire de Strasbourg, et Stacy McCaugh, de l'université du Maryland (États-Unis).* » En 2008, MOND a passé victorieusement un autre test, celui de la formation des galaxies. Françoise Combes et son collègue Olivier Tiret, de l'observatoire de Paris, ont ainsi voulu vérifier que, dans un Univers où la loi de gravité serait modifiée comme le propose Milgrom, les galaxies ressembleraient à celles que nous observons actuellement. Ils ont donc entrepris de simuler la formation des Antennes, une paire de galaxies situées dans la direction de la constellation du Corbeau à 45 millions d'années-lumière de nous. Conclusion : « *À quelques différences près, les deux modèles aboutissent au même résultat* », constate Françoise Combes. Forte de ce succès, la théorie MOND ne semble cependant pas tout résoudre : dans les amas de galaxies, on ne sait pas encore comment totalement se passer de matière noire. C'est comme s'il fallait encore « *tenir compte d'une certaine quantité de neutrinos, d'atomes ou de molécules disposés en nuages denses et froids, qui ne rayonnent pas* », explique Luc Blanchet

En revanche, MOND marque des points sur l'énergie noire. En 2004, Jacob Bekenstein a en effet raffiné la théorie de Milgrom, rebaptisée TeVeS (tenseur vecteur scalaire), tout en la conservant parfaitement en accord avec la relativité générale d'Einstein qui s'applique aux grandes échelles de l'Univers. L'opération a consisté « *à modifier la gravité en rajoutant un terme qui serait valable à l'échelle des galaxies, un autre à l'échelle des amas de galaxies et encore un autre à très grande échelle — celle de l'énergie sombre* », précise Françoise Combes.

Une démarche *ad hoc*, empirique et pragmatique. Et alors, serait-ce par trop choquant ? Newton a procédé de même en son temps (*voir l'interview p. 34*), fait remarquer la nouvelle membre du Collège de France. Et de comparer, non sans humour, l'introuvable matière noire au chat de Confucius : « *Attraper un chat noir dans l'obscurité de la nuit est la chose la plus difficile qui soit, surtout s'il n'y a pas de chat.* » ■

POUR EN SAVOIR PLUS

- Le Mystère de la matière noire. Dans les coulisses de l'Univers, de Gianfranco Bertone, Dunod, 2014.
- Où se cache la matière noire ?, de Alain Bouquet, col. « Les petites pommes du savoir », le Pommier, 2010.
- La leçon inaugurale de Françoise Combes au Collège de France : http://www.college-de-france.fr/815lecon

AUTOCICATRISANT Matériau qui se répare spontanément à la suite d'un dommage, petite fissure ou trou de plusieurs centimètres.

POLYMÈRE Longue chaîne moléculaire formée par l'association, bout à bout, de nombreux petits éléments de base appelés « monomères ».

CATALYSEUR Composé qui accélère de manière très significative la vitesse d'une réaction chimique sans en modifier le résultat final.

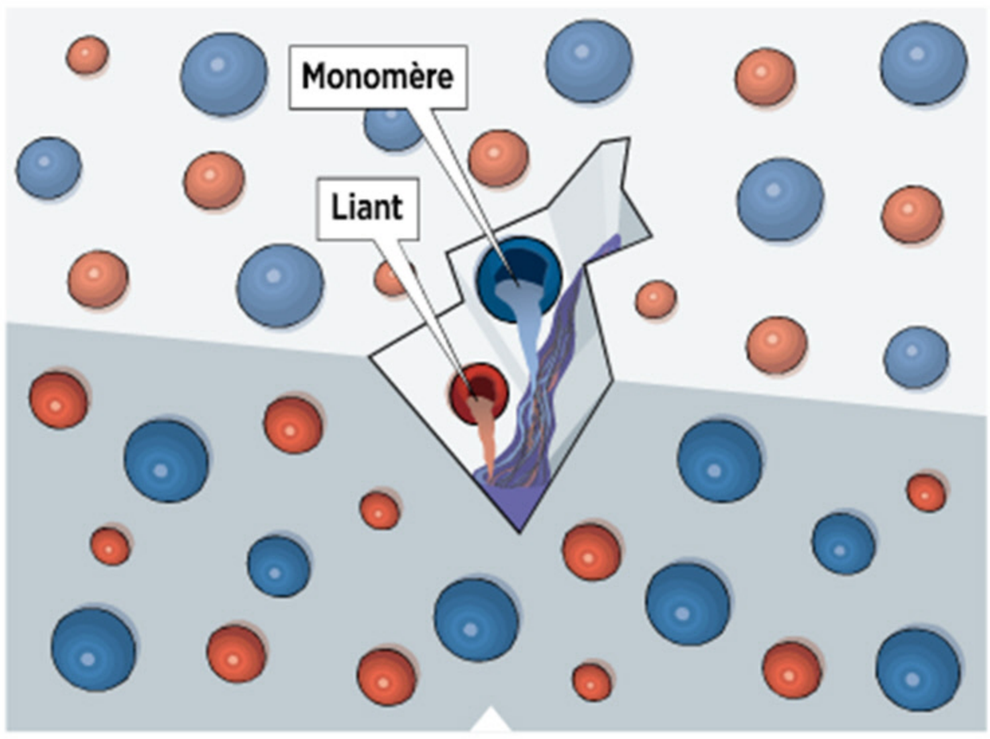
LIAISON HYDROGÈNE Interaction électrostatique, réversible et de faible intensité, entre deux atomes d'une molécule ou de molécules différentes.

Ces matériaux qui se réparent tout seuls

Inspirée des mécanismes de régénération naturelle, une nouvelle classe de matériaux aux propriétés autocicatrisantes devrait bientôt sortir des laboratoires. Des applications sont déjà envisagées dans les peintures industrielles ou les pneumatiques.

Par Franck Daninos

LA DÉMONSTRATION EST SPECTACULAIRE. Un foret mécanique perce une plaque d'époxy, laissant un trou de 3,5 cm de diamètre et des fissures tout autour, comme si le matériau avait été transpercé par une balle. Puis la magie opère. En une quinzaine de minutes, le trou se rebouche... tout seul ! Au bout de trois heures, la soudure est devenu presque aussi dure que la résine d'origine. Ce matériau digne d'un film de science-fiction a été conçu par l'équipe de Scott White, du département de génie aérospatial de l'université de l'Illinois aux États-Unis. C'est la dernière grande réalisation d'un domaine de recherche très actif depuis une quinzaine d'années. Il vise à élaborer une nouvelle classe de matériaux qui, à l'instar des êtres vivants, se régénèrent en cas de dégâts, ce qui allonge leur durée de vie, réduit les coûts d'entretien ou évite d'avoir à procéder à des réparations dans des lieux difficiles d'accès.



BETTY LAFON

Des microcapsules emplies de monomères (bleu) ou d'un liant (rouge) se brisent quand le matériau est lésé. Monomères et liant réagissent pour former des polymères qui colmatent la lésion.

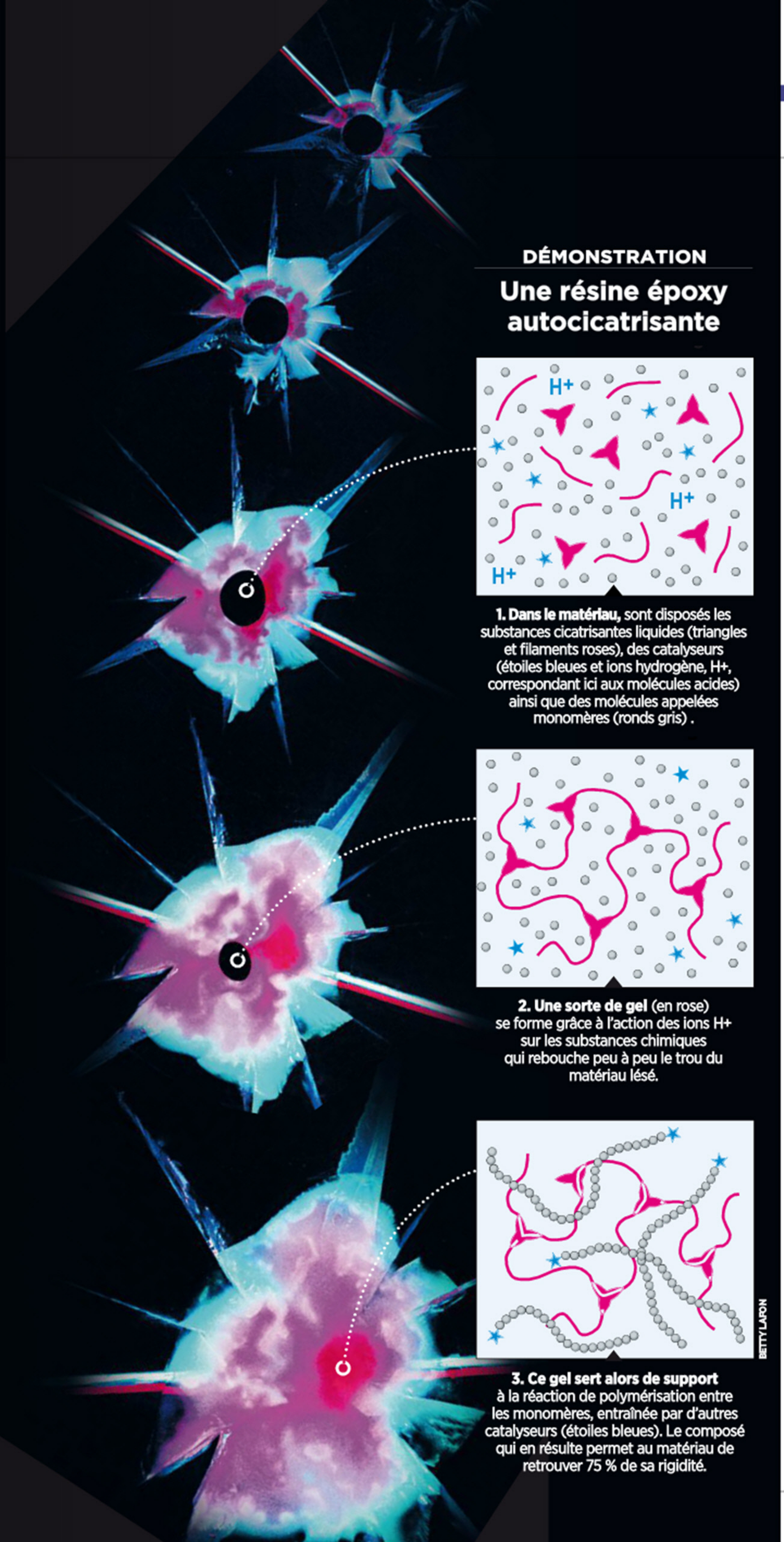
Trois types de stratégies ont été adoptés pour leur fabrication. La première a été inaugurée dès 2001 par Scott White, qui a conçu un matériau « autocicatrisant » inspiré des mécanismes de régénération de la peau : après une coupure, des cellules et des protéines filamenteuses sont acheminées pour boucher la plaie et créer un tissu neuf au bout de quelques semaines voire de plusieurs mois, selon la gravité de la blessure. Le même principe, en plus simple et plus rapide, est à l'œuvre dans le matériau de l'ingénieur américain. Il contient des microcapsules, qui renferment elles-mêmes un liquide constitué de petites molécules appelées « monomères ». Des substances chimiques permettant de les assembler bout à bout, les « catalyseurs », sont également dispersées au sein du matériau. À la suite d'une entaille, des capsules se brisent et déversent leur contenu sur le site de la lésion *(voir l'infographie ci-contre)*. Les monomères réagissent alors avec les catalyseurs et des chaînes de polymères se forment. Le composé solide qui en résulte colmate ainsi le matériau d'origine, qui retrouve 75 % de sa rigidité.

« Ces travaux en ont inspiré beaucoup d'autres par la suite, explique François Tournilhac, du Laboratoire chimie et matière molle de l'ESPCI Paris-Tech. *Les matériaux*

NATHAN BAJANDAS, BECKMAN INSTITUTE, UNIVERSITY OF ILLINOIS

DÉMONSTRATION

Une résine époxy autocicatrisante



1. Dans le matériau, sont disposés les substances cicatrisantes liquides (triangles et filaments roses), des catalyseurs (étoiles bleues et ions hydrogène, H+, correspondant ici aux molécules acides) ainsi que des molécules appelées monomères (ronds gris) .

2. Une sorte de gel (en rose) se forme grâce à l'action des ions H+ sur les substances chimiques qui rebouche peu à peu le trou du matériau lésé.

BETTY LAPON

3. Ce gel sert alors de support à la réaction de polymérisation entre les monomères, entraînée par d'autres catalyseurs (étoiles bleues). Le composé qui en résulte permet au matériau de retrouver 75 % de sa rigidité.

F. TOURNILHAC

« C'est un sujet de recherche en vogue qui draine d'importants financements. On a imaginé très vite de nombreuses applications »

François Tournilhac, Laboratoire chimie et matière molle de l'ESPCI

autocicatrisants sont devenus un sujet de recherche en vogue, drainant d'importants financements publics. On imagine très vite une multitude d'applications permettant de restaurer les propriétés mécaniques, optiques ou électriques de polymères, de bétons ou de métaux endommagés. » Ils seraient particulièrement utiles à l'industrie des revêtements, pour fabriquer des peintures anticorrosion par exemple. Les dégâts causés par la rouille sont en effet estimés à 500 milliards de dollars chaque année ! De telles peintures contiendraient des microcapsules qui, à la suite d'une craquelure, reconstitueraient le revêtement et protégeraient les pièces métalliques dans des milieux humides et salés — pour des coques de bateau ou des éoliennes offshore notamment. Les perspectives sont belles, mais les matériaux à base de microcapsules se heurtent à de nombreuses limites : taille du trou, répétition de la réparation, type de matériaux... Ils ne peuvent colmater que de petites fissures mais ▶

pas des trous au-delà de quelques dizaines de millimètres carrés, car les liquides cicatrisants coulent avant de polymériser. Les microcapsules ne peuvent acheminer, en outre, qu'une quantité assez faible de matière sur le site d'une lésion, et n'autorisent qu'une seule réparation à un endroit donné. Enfin, on ne peut les intégrer dans des matériaux mous, tels les élastomères qui composent les caoutchoucs, car leurs propriétés élastiques empêchent trop souvent leur brisure.
Les chercheurs ont alors envisagé d'autres types de matériaux autoréparables. Les premiers sont dits intrinsèques, car leur régénération n'est plus fondée sur l'apport de matière, mais sur leurs propriétés physico-chimiques propres. Les réparations s'effectuent grâce à des mécanismes moléculaires réversibles, telles les « liaisons hydrogène » qui établissent des interactions électrostatiques entre des atomes (d'hydrogène et d'azote notamment) de molécules différentes. En 2010, en collaboration avec le groupe chimique français Arkema, l'équipe de Ludwik Leibler et de François Tournilhac a ainsi fabriqué des centaines de kilos d'une matière caoutchouteuse capable de se réparer elle-même lorsqu'elle est déchirée ou découpée ! La simple mise en contact de deux extrémités entaillées entraîne la formation d'un grand nombre de liaisons hydrogènes entre les fragments, qui se ressoudent. Parmi les applications possibles, des semelles de chaussures ou des vêtements de sport qui s'useraient beaucoup moins vite.

COURTOISY V. MICHAUD

« Ces innovations restent difficiles à industrialiser. Il faudra qu'elles n'entraînent pas un trop grand surcoût »
Véronique Michaud, Laboratoire de technologie des composites et des polymères

Des canaux semblables aux capillaires sanguins

Autre catégorie, plus récente, celle des matériaux dits vascularisés, qui s'inspirent plus directement encore de processus biologiques. Parcourus par des microcanaux semblables aux capillaires sanguins, ils présentent deux réseaux indépendants de liquides : l'un constitué de monomères, l'autre de catalyseurs. Quand les capillaires sont rompus accidentellement, ils libèrent les agents cicatrisants, qui polymérisent et colmatent la brèche. Le réseau permet plusieurs restaurations au même endroit — d'une demi-douzaine à plus de 30 selon la structure vasculaire.
Au printemps dernier, Scott White et ses collaborateurs ont utilisé un matériau de ce type pour reboucher spontanément un trou de plusieurs centimètres de diamètre — 100 fois plus grand que les meilleurs résultats précédents ! Oui, mais comment colmater une telle brèche sans que les

BIO-INSPIRATION

Les mollusques montrent la voie pour l'autocicatrisation en milieu aqueux

C'est le plus souvent dans des environnements secs que les matériaux autoréparables fonctionnent, alors qu'ils perdent leurs propriétés une fois mouillés. C'est gênant si l'on s'intéresse aux revêtements de plates-formes pétrolières offshore ou aux implants médicaux. La solution ? Elle se trouve peut-être chez la moule dont les prouesses adhésives ont inspiré une équipe de scientifiques de l'université de Santa Barbara, en Californie (États-Unis). L'animal est en effet capable de s'accrocher très solidement à une large variété de surfaces — roches, métaux et même Téflon — grâce à des groupements chimiques appelés catéchols, présents dans les protéines de son « pied ». Les chercheurs américains ont déposé une couche de molécules possédant de tels groupements chimiques à la surface d'un polymère semblable à du Plexiglas. Lorsque cette couche est mise à nu à la suite d'une entaille, en milieu aqueux, des molécules d'eau entrent en contact avec les catéchols qui sont alors « activés » chimiquement. Le mécanisme à l'origine de l'autoréparation n'est pas encore bien élucidé, mais il semble que les catéchols établissent un très grand nombre de liaisons hydrogène entre les bords entaillés, qui se ressoudent au bout de 20 minutes. La couche superficielle retrouve ainsi sa structure moléculaire initiale, et ce processus peut être répété de très nombreuses fois.

J. L. ET F. ZIEGLER / BIOSPHOTO

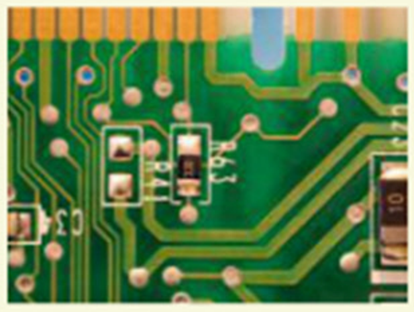
Grâce aux propriétés adhésives de son « pied », la moule est capable de s'accrocher solidement dans l'eau sur toutes sortes de surfaces.

UTILISATIONS

5 applications industrielles potentielles

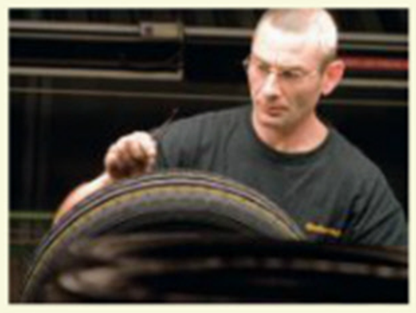
REVÊTEMENTS INDUSTRIELS. Ce secteur devrait être le premier à profiter de ces avancées, sous la forme de peintures qui reconstituent les couches anticorrosion sur des pièces métalliques, ou de peintures automobiles dont les fissures s'auto-colmatent.

BÂTIMENT. Le développement de bétons et de métaux autoréparables permettrait de bâtir des infrastructures plus sûres et plus faciles à entretenir. Des ponts dont les éléments « se rajeuniraient » en permanence, par exemple.



MICROÉLECTRONIQUE. Des microcircuits et des batteries qui s'autoréparent sont en cours de développement à l'université de l'Illinois, aux États-Unis. Grâce à l'incorporation de microcapsules contenant des agents cicatrisants, la conductivité électrique peut être restaurée.

VITRES ET PARE-BRISE. Les scientifiques cherchent à mettre au point des pare-brise, des visières de casque et autres matériaux composites transparents capables de colmater des fissures ou des brèches, mais aussi de restaurer leurs propriétés optiques d'origine.



PNEUMATIQUES. Les prochaines générations de pneus seront autoréparables ! En laissant apparaître de nouveaux sillons après usure de la gomme initiale, comme c'est déjà le cas, mais aussi en se refermant spontanément en cas de fissuration ou de crevaison.

réactifs ne s'effondrent sous leur propre poids ? Pour y parvenir, ils ont pris modèle sur la physiologie des plantes, qui achemine l'eau jusqu'aux plus hautes extrémités du végétal en la maintenant sous forme de gel. Concrètement, ils ont réalisé une résine d'époxy traversée par deux microcanaux parallèles — un modèle simple à des fins de démonstration. *(Voir l'infographie p. 37.)*

Lorsque le matériau est percé et les canaux rompus, les composés liquides qu'ils contiennent se mélangent. Déclenchée par un catalyseur acide, une première réaction entraîne la formation d'un réseau de molécules longues et fines, qui augmente la viscosité du liquide. Ce gel sert d'« échafaudage » à une deuxième réaction qui se produit entre des monomères grâce à différents types de catalyseurs. « *La nature et le nombre de ces catalyseurs jouent un rôle essentiel,* précise Véronique Michaud, du Laboratoire de technologie des composites et des polymères, à Lausanne, *car ils permettent non seulement d'associer les monomères, mais aussi de régler la vitesse de polymérisation. Trop rapide, elle conduirait à l'obstruction prématurée des canaux ; trop lente, le gel s'effondrerait avant que les polymères ne se forment et solidifient l'emplâtre.* »

Financés par l'armée de l'air américaine, ces travaux pourraient se révéler très utiles pour réparer des dommages créés par de petits impacts sur les ailes d'un avion ou les plates-formes des satellites artificiels. Mais des années de recherche seront encore néce[illegible] saires pour améliorer le procé[illegible] et garantir sa fiabilité.

La résistance à l'usure naturelle reste mal connue

De manière plus générale, la plupart des matériaux autoréparables ne remplissent pas encore les critères de production à grande échelle. Et on ne connaît pas leur résistance à l'usure naturelle sur la durée. En revanche, parce qu'ils ne nécessitent pas des aptitudes mécaniques très poussées, certains pourraient connaître rapidement un essor important dans des domaines particuliers, comme celui des peintures antirouille développées par la société américaine Autonomic Materials. À condition qu'ils ne coûtent pas trop cher. « *Ces matériaux sont difficiles à fabriquer au niveau industriel. Il faudra donc démontrer, à chaque fois, qu'ils n'entraînent pas un surcoût important,* souligne Véronique Michaud. *Sauf s'ils fournissent un avantage décisif, comme dans le domaine médical avec par exemple des implants capables de se régénérer eux-mêmes.* »

Alors, pas de déferlement d'objets autoréparables dans notre quotidien ? Plus certainement, ils resteront cantonnés à des applications de niche. « *Une cinquantaine d'industriels s'étaient penchés sur notre caoutchouc autocicatrisant,* se souvient François Tournilhac. *Mais aucune application commerciale n'a pour le moment vu le jour, car l'intérêt des industriels pour des objets inusables reste très faible.* » La tendance est au remplacement effréné des produits de consommation plutôt qu'à l'augmentation de leur durée de vie ! Aimerions-nous disposer de vêtements, voitures ou téléphones portables capables de durer des dizaines d'années ? Au-delà du défi technologique, les matériaux autoréparables renvoient aussi à un choix de société. ■

+ NUMÉRIQUE
Retrouvez une vidéo montrant comment deux liquides autocicatrisants réagissent pour combler un trou d'un diamètre important sur **http://sciav.fr/816fonda**

PHOTONONSTOP - AFP - SIPA - PLAINPICTURE - SIPA

Curiosity a « reniflé » du méthane sur Mars

Serait-ce les traces d'une vie microbienne passée ou actuelle sur la planète Rouge? Cela fait partie des hypothèses pour expliquer l'origine de cet hydrocarbure.

POUR LES CHERCHEURS, c'est une excellente nouvelle qui lève un pan du voile sur un mystère martien, celui de la présence de méthane (CH_4) sur son sol. Selon une équipe internationale placée sous la houlette du Jet Propulsion Laboratory de la Nasa, il y aurait bien des dégazages de cet hydrocarbure à la surface de la planète Rouge. Mieux ! ces dégazages se feraient par bouffées ! Les résultats, publiés le 16 décembre dans le magazine *Science*, s'appuient sur les données récoltées par l'instrument SAM (Sample Analysis at Mars), un laboratoire de chimie pesant une quarantaine de kilogrammes installé à bord du robot d'exploration martien Curiosity qui parcourt la planète depuis août 2012. En quoi cette découverte est-elle fascinante ? Parce que sur Terre, cette molécule organique — c'est-à-dire contenant du carbone (C) et de l'hydrogène (H) — est produite à 95 % par des êtres vivants. La présence de méthane pourrait donc être la signature d'une activité biologique sur cette planète voisine immédiate de la Terre... et donc d'une vie extraterrestre. À moins qu'il ne soit produit par d'autres voies *(lire l'encadré)*, ce que seule une analyse plus approfondie des données permettra d'établir.

Leur existence clarifie en tout cas le statut de ce gaz dans l'atmosphère martienne qui intriguait les chercheurs depuis une décennie. En effet, *« les observations télescopiques effectuées depuis la Terre en 2003 grâce à des spectromètres haute résolution indiquaient la présence de méthane dans l'atmosphère de la planète Rouge ainsi que de grandes variations dans sa répartition »*, rappelle François Forget, chercheur à l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL/LMD, Insu-CNRS). Une année plus tard, en 2004, la sonde européenne Exomars avait confirmé la présence de ce gaz en très faibles quantités. Mais ces variations du méthane atmosphérique semblaient si étranges qu'elles avaient conduit le chercheur et un de ses collègues à publier en 2009 un article montrant que ces mesures étaient incompatibles avec notre connaissance de la physique et de la chimie de l'atmosphère. Selon eux, elles pouvaient résulter d'une erreur instrumentale.

PHOTOS : NASA/JPL-CALTECH/MSSS

Le forage d'une dizaine de centimètres de profondeur réalisé sur la roche baptisée Cumberland, en mai 2013, a révélé une concentration de chlorobenzène.

Les résultats d'observation avaient donc conduit les scientifiques à programmer des mesures sur place par le robot américain, et c'est en 2012 que Curiosity a posé ses roues sur la planète Rouge pour tirer les choses au clair. Et les premiers relevés semblent donc dans un premier temps confirmer l'intuition des chercheurs : la

concentration de méthane est si faible qu'elle flirte avec le seuil de sensibilité de l'instrument, soit *« 0,6 partie par milliard, avec une marge d'erreur de 1,5 partie par milliard »*, chiffre Michel Cabane, professeur émérite au Latmos (IPSL/UPMC), responsable de SAM. Mais quatre mesures, effectuées entre fin 2013 et début 2014, viennent soudain bouleverser la donne ! Elles présentent une concentration de méthane 10 fois supérieure aux traces détectées habituellement, signe que le rover est passé à proximité de véritables « bouffées » de ce gaz durant une cinquantaine de jours terrestres.

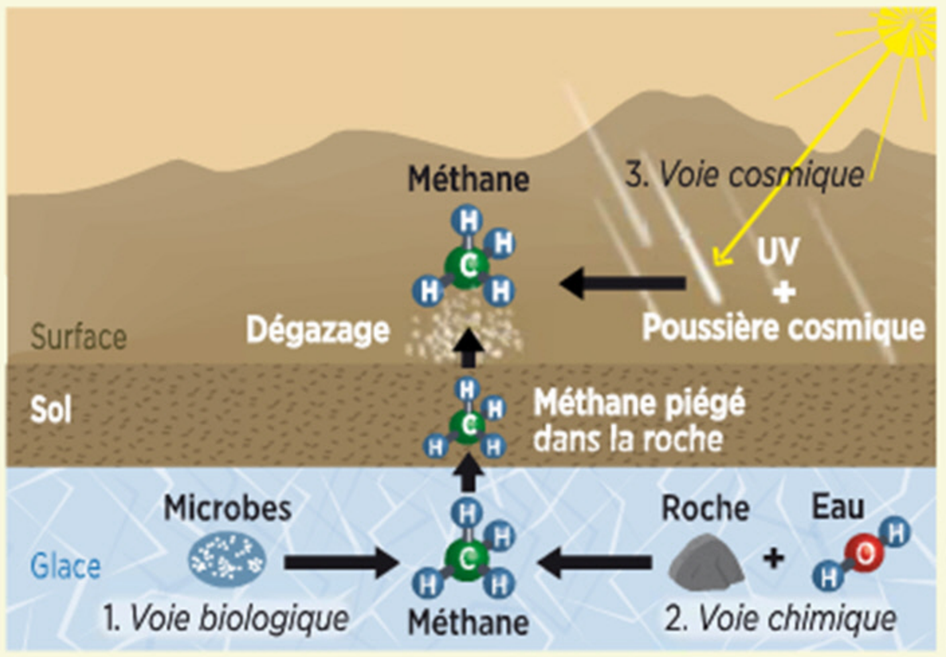
Une molécule organique complexe mise au jour

Et Curiosity ne s'est pas contenté de « renifler » des molécules organiques dans l'atmosphère de Mars. Il en a également découvert dans les couches supérieures de son sol. *« Jusqu'à présent, SAM avait essentiellement repéré des traces de molécules simples de la famille du chlorométhane lors de l'analyse des sables ou des poudres de roche. Elles sont issues de l'action, dans SAM, des perchlorates du sol martien sur des traces de matière organique d'origine incertaine »*, explique Michel Cabane. Mais l'un des forages effectués sur une roche baptisée Cumberland a révélé pour la première fois la présence en concentration 5 à 10 fois plus importante d'une molécule bien plus complexe : le chlorobenzène (C_6H_5Cl). *« Une molécule organique très intéressante car bien plus proche de celles qui composent la chimie organique prébiotique* [les réactions chimiques qui ont pu amorcer la vie et son processus réplicatif] *! »*, s'enthousiasme le chercheur qui espère que de nouveaux forages apporteront la preuve de l'existence d'autres molécules de ce type.

Ces dernières constitueront autant d'indices qui permettront de mieux préparer les futures missions du programme ESA Exomars, qui devraient être lancées entre 2016 et 2018 et de la mission Nasa Mars 2020. Des missions dont l'objectif sera cette fois de rechercher des sites où des molécules prébiotiques pourraient être présentes, et de préparer le retour d'échantillons martiens. Avec l'espoir, à terme, de trouver des traces de vie présente ou passée et, en tout cas, de comprendre comment la vie est apparue sur notre planète. ■

Erwan Lecomte

@Erwan_Lecomte



BETTY LAFON

FORMATION

Trois scénarios possibles

Le méthane de Mars a-t-il été produit par des micro-organismes ? Cette hypothèse a été avancée en décembre dernier par une équipe internationale de chercheurs. Ces derniers concluent dans une étude* que la matière organique retrouvée dans une météorite martienne (nommée « Tissint ») tombée sur Terre ne pouvait avoir qu'une origine biologique. Deuxième hypothèse : le méthane est le produit d'une réaction chimique appelée « serpentinisation » qui se produit par hydratation de minéraux tels que le pyroxène ou l'olivine. Ce méthane souterrain se stocke ensuite pendant des millénaires sous la forme d'hydrates de méthane avant de sortir du sol par bouffées. Troisième hypothèse : le méthane provient de la dégradation par les rayons UV de la matière organique déposée à la surface de Mars par les poussières cosmiques et les impacts météoritiques.

* Lire *Sciences et Avenir* n° 815, page 84.

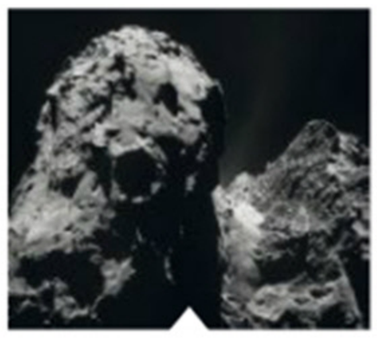
◀ **Curiosity** a détecté des pics de méthane dans le cratère de Gale, au pied du mont Sharp.

Enquête cosmique sur les origines de l'eau de la Terre

Les mesures de la sonde Rosetta confirment que l'eau de la Terre ne provient pas des comètes. L'hypothèse des astéroïdes primitifs est désormais privilégiée.

« C'EST LA PREMIÈRE SURPRISE DE ROSETTA ! *Contrairement à ce que l'on avait pu imaginer, l'eau de la comète n'est pas la même que celle de nos océans. Il faut donc chercher la source de l'eau terrestre ailleurs* », s'enthousiasme Kathrin Altwegg, de l'université de Berne, en Suisse, après la publication dans la revue *Science* des premiers résultats qu'elle a obtenus grâce à la sonde européenne qui gravite près de la comète Tchourioumov-Guérassimenko («Tchouri ») depuis août 2014. Ce résultat relance le débat déjà très vif sur l'origine de l'eau sur Terre, qui voit s'affronter depuis plus d'un demi-siècle géochimistes et astrophysiciens. Avec cette interrogation : l'eau terrestre est-elle originaire d'ailleurs dans le système solaire et a-t-elle été apportée sur notre planète depuis l'espace ?

« *C'est un sujet en pleine actualité*, confirme Bernard Marty, du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de l'université de Lorraine, à Vandœuvre-lès Nancy, et coauteur de l'article. *L'idée que l'eau aurait été apportée sur Terre par des comètes est ancienne, car environ 50 % de la masse de ces astres consistent en glace d'eau. Mais une autre origine possible serait un apport par certains astéroïdes dont la composition est proche de celle des météorites primitives* [lire lexique] *appelées chondrites carbonées. Elles contiennent en effet jusqu'à 15 % d'eau sous forme de minéraux hydratés. Une des façons de les départager est d'analyser la composition de leur eau.* » En particulier leur contenu en deutérium, un isotope de l'hydrogène comportant un proton et un neutron (*lire l'encadré ci-contre*). Car la mesure du rapport deutérium/hydrogène indique le « lieu de naissance » de l'eau. En effet, alors que le milieu interstellaire compte 0,2 atome de deutérium pour 10 000 atomes d'hydrogène comme dans Jupiter et le Soleil, il y en a 1,56 dans les océans terrestres. Soit un taux sensiblement égal à celui des chondrites carbonées (de 1,4 à 1,6).



ESA/ROSETTA/NAVCAM

La comète Tchouri (ici photographiée par Rosetta). La mesure de sa composition isotopique en azote carboné permettra d'en savoir davantage sur les corps célestes qui auraient « ensemencé » la Terre.

Les comètes diffèrent selon leur lieu de naissance

Or selon les mesures, communiquées le 10 décembre dernier, effectuées par le spectromètre Rosina embarqué sur la sonde Rosetta, les gaz émis par Tchouri contiennent 5,3 atomes de deutérium pour 10 000 atomes d'hydrogène. Soit trois fois plus que dans les océans terrestres. Les comètes de Halley, Hale-Bopp ou Hyakutake en ayant deux fois plus, les comètes ne semblent donc décidément pas avoir le bon profil... Pourtant, et malgré ces forts indices, il est encore impossible de les disqualifier définitivement. En 2011, les analyses de la comète Hartley 2, observée depuis la Terre par le télescope européen Herschel, ont en effet révélé un taux de deutérium compatible avec celui des océans terrestres

NASA/JPL - CALTECH/T. PYLE (SSC)

ANALYSES

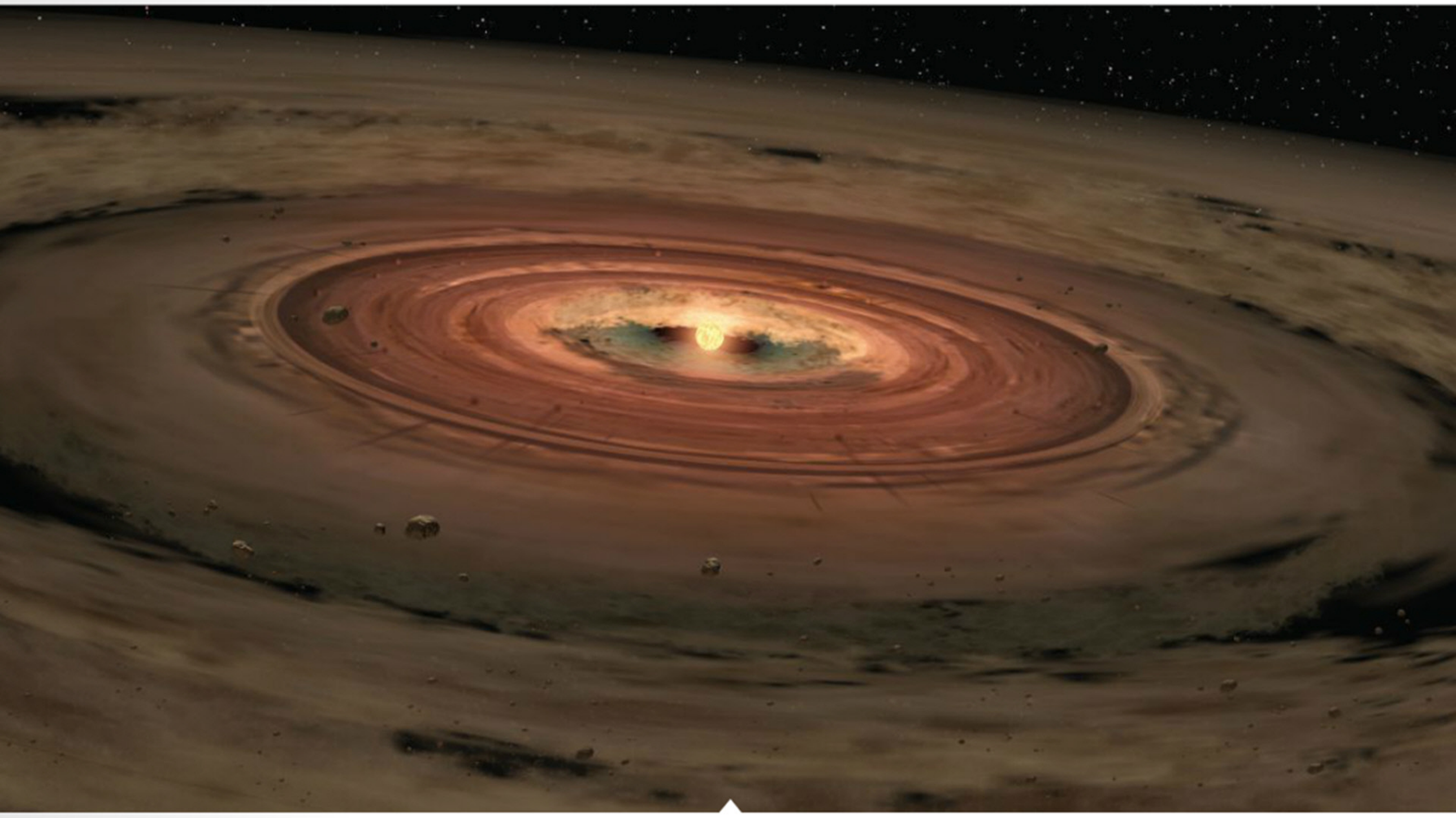
La preuve par le deutérium

La formule de l'eau (H_2O) n'est qu'une approximation. L'hydrogène comme l'oxygène peut être différent d'une molécule à l'autre. Certaines ne contiennent pas un hydrogène simple, atome formé d'un seul proton, mais un de ses isotopes lourds, un deutérium (D), formé d'un proton et d'un neutron. L'oxygène est toujours composé de 8 protons, mais contient au choix 8, 9 ou 10 neutrons. Dans plus de 99,999 % des cas, l'eau est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène 16 (8 protons, 8 neutrons), mais, selon la température lors de sa formation, donc son lieu de naissance, elle contiendra plus ou moins d'eau lourde HDO. En effet, certaines réactions chimiques impliquant le deutérium sont plus actives quand il fait plus froid. Elles sont aussi favorisées par la présence d'ions du milieu interplanétaire. Ainsi, plus on s'éloigne du Soleil, plus les réactions sont actives, plus le milieu s'enrichit en deutérium. Et plus le rapport deutérium/hydrogène est élevé au sein du milieu dense qu'était le disque de gaz et de poussières dans lequel se sont formées les planètes.

MÉTÉORITES Caillou extraterrestre tombé sur Terre. La plupart sont des morceaux d'astéroïdes. Les plus primitives sont les chondrites carbonées, des billes agglomérées dans une matrice de silicates hydratés.

ASTÉROÏDE Petit corps rocheux de quelques mètres à quelques centaines de km et qui gravitent sur des orbites peu elliptiques, soit entre Mars et Jupiter, soit dans la ceinture de Kuiper.

COMÈTE Petit corps glacé qui gravite sur des orbites elliptiques, soit dans la ceinture de Kuiper, entre 30 et 50 fois la distance Terre-Soleil, soit dans le nuage d'Oort, entre 10 000 et 150 000 fois la distance Terre-Soleil.



Au début du système solaire, le jeune Soleil était entouré d'un disque de gaz et de poussières. C'est à partir de ce matériau que la Terre s'est formée (vue d'artiste).

(1,6 pour 10 000). Comment expliquer ces différences ? Par leur lieu de naissance. Si Hartley 2, Tchouri et Halley n'ont pas la même composition, c'est qu'elles ne sont pas, en effet, issues des mêmes régions du système solaire. Halley, qui revient régulièrement de l'orbite de Pluton, n'a pas toujours eu une période de 76 ans. Elle s'est formée près de Jupiter et de Saturne puis a été éjectée — comme la comète Hale-Bopp — dans le nuage d'Oort, ce vaste réservoir cométaire situé aux confins du système solaire, à entre 10 000 et 150 000 fois la distance Terre-Soleil, avant de revenir sur une orbite moins lointaine. Tchouri, quant à elle, provient de la ceinture de Kuiper, au-delà de l'orbite de Neptune. Elle s'est donc formée plus loin que Halley. Quant à Hartley 2, formée, elle aussi, dans la ceinture de Kuiper, elle reste pour l'heure un mystère.

L'azote de Tchouri, un indice supplémentaire

« Il est possible que les compositions des comètes soient hétérogènes », conclut Bernard Marty. Pour en savoir davantage, il faudra affiner les analyses. Comment ? En mesurant la variation d'autres éléments chimiques comme l'azote. *« Les teneurs en différentes formes de l'azote renseignent aussi sur les corps qui auraient ensemencé la Terre. Toutes les comètes, Hartley 2 comprise, ont deux fois plus d'azote lourd (^{15}N) que les météorites ou que la Terre »*, ajoute-t-il. Les scientifiques attendent donc avec impatience la mesure de la composition isotopique de l'azote de la comète Tchouri, dont la publication est prévue dans les prochains mois, qui apportera donc un indice supplémentaire déterminant.

ASU/CMS

La météorite de Murchison, tombée en 1969 en Australie, contient 12 % d'eau, dont la composition est proche de celle des océans terrestres.

À la lueur des résultats de Rosina, ce sont les astéroïdes *(lire lexique)* qui reviennent sur le devant de la

scène pour expliquer l'origine de l'eau sur Terre. Ou du moins un matériau semblable à celui des astéroïdes. L'étude de l'évolution du système solaire primordial plaide en leur faveur.

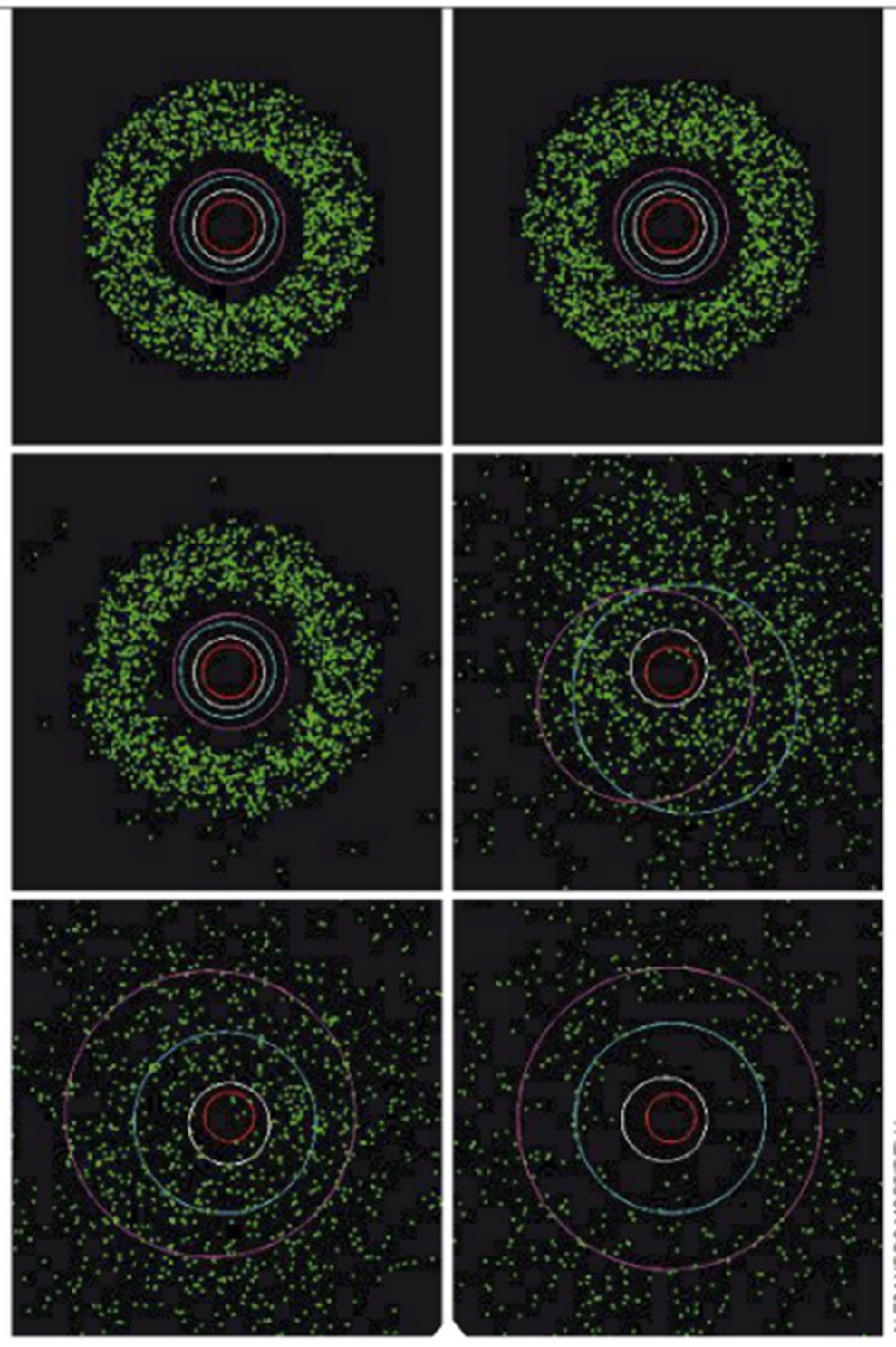
La migration des planètes géantes en cause

C'est ce que racontent les simulations du modèle dit de Nice *(voir l'illustration ci-contre)*, élaboré depuis 2005 par Alessandro Morbidelli et ses collègues de l'observatoire de la Côte-d'Azur. Elles montrent qu'un grand remue-ménage a pu avoir lieu aux débuts du système solaire. En cause, la migration des planètes géantes dont l'effet s'est fait sentir jusque sur la Terre.

Environ 800 millions d'années après la naissance du Soleil (c'est-à-dire il y a 3,8 milliards d'années), le système s'est en effet brusquement déstabilisé lorsque la résonance entre les orbites de Jupiter et Saturne a pris fin (Saturne tournant trois fois autour du Soleil pendant que Jupiter faisait deux tours). Les orbites de Neptune et d'Uranus se sont alors affolées et les innombrables corps glacés formés près de Jupiter et Saturne ont été éjectés, en partie vers le nuage d'Oort, mais aussi dans le système solaire interne où ils sont devenus des astéroïdes après avoir perdu leurs éléments volatils.

Les effets se sont fait sentir sur Terre, alors âgée de 700 millions d'années, par ce qu'on appelle le « grand bombardement tardif » : des millions de tonnes de matière, principalement issues d'astéroïdes hydratés, sont venues finir leur course sur notre planète, y apportant de l'eau. Un bombardement dont les comètes étaient exclues, très peu d'entre elles ayant des chances de s'écraser sur Terre. *« Les calculs évaluent cette probabilité à un millionième,* déclare Alessandro Morbidelli. *Avec un ensemble représentant 30 fois la masse la Terre, les comètes ont ainsi pu apporter au maximum 2 % de l'eau terrestre. »*

Toutefois, un bombardement tardif d'astéroïdes n'est pas la seule piste suivie par les chercheurs. Ils explorent aussi celle d'une eau provenant du matériau même qui a formé la Terre. Certes, ils écartent l'idée qu'elle soit issue du dégazage de notre jeune planète en fusion et de son refroidissement après sa formation il y a 4,556 milliards d'années. Car dans le milieu très chaud dans lequel elle s'est formée, les éléments volatils comme l'eau n'ont pas pu être piégés sur place. D'autant que le jeune Soleil les a sans doute soufflés jusqu'à des distances situées bien au-delà de Mars.



ALESSANDRO MORBIDELLI

Environ 800 millions d'années après la formation du Soleil, les orbites des planètes géantes ont changé. Certains des petits corps qui gravitaient alentour ont été envoyés aux confins du système solaire, d'autres vers les régions plus proches du Soleil.

Des astéroïdes primitifs auraient hydraté la Terre

À rebours de certains géochimistes comme Francis Albarède, de l'École normale supérieure de Lyon, qui plaident pour une phase sèche très longue, d'autres avancent des arguments géochimiques en faveur de l'hypothèse d'une Terre plus rapidement hydratée. Les simulations montrent en effet que notre planète a formé 30 % de sa masse avec l'apport d'astéroïdes primitifs et qu'un hypothétique astéroïde de la taille de Mars, baptisé Théia, aurait pu la heurter entre 50 et 100 millions d'années après la naissance du Soleil, lui apportant un surplus de masse d'environ 5 % . En outre, la Terre a fini sa formation par le « vernis tardif », continuant à ingurgiter 0,5 % de sa masse avec d'autres astéroïdes primitifs. Et avec eux l'eau qu'ils contenaient. Ces astéroïdes primitifs devaient ressembler aux chondrites carbonées, ces météorites primitives qui tombent aujourd'hui sur Terre.

Pour asseoir cette hypothèse, il faudrait analyser la matière dont elles sont issues. Et l'espoir vient de s'envoler — au sens positif du terme ! — avec la sonde japonaise Hayabusa 2 lancée en décembre 2014. Car sa cible, l'astéroïde 1999 JU3, est justement de type carboné. La sonde doit en rapporter des échantillons en 2020 qui donneront peut-être le fin mot de l'histoire. ■ **Jacques-Olivier Baruch**

A. MORBIDELLI

« Les comètes ont pu apporter au maximum 2 % de l'eau terrestre »

Alessandro Morbidelli, planétologue à l'observatoire de la Côte-d'Azur, à Nice

SOUTENEZ

CHARLIE HEBDO

CHARLIE HEBDO A BESOIN DE VOUS POUR SURVIVRE.

Vous pouvez effectuer un don :

Soit par carte bancaire sur le site jaidecharlie.fr

Soit par chèque, libellé à l'ordre de : Presse et Pluralisme / opération « J'aide Charlie »
et accompagné obligatoirement du coupon ci-dessous.
A retourner exclusivement à l'adresse suivante :
Association Presse et Pluralisme - TSA 32649 - 91764 Palaiseau Cedex

Je fais un don de |_____| **€ au profit exclusif de CHARLIE HEBDO**

Je libelle mon chèque à l'ordre de :
Presse et Pluralisme / opération « J'aide Charlie »

Et je précise mes coordonnées :
(afin que Presse et Pluralisme puisse émettre le reçu fiscal qui me permettra de bénéficier de la réduction d'impôts l'année suivant mon versement)

Nom |_____| Prénom |_____|

Adresse |_____|

Code postal |_____| Ville |_____|

Courriel |_____|

Téléphone |_____|

Coupon à compléter et à retourner, accompagné de votre chèque, exclusivement à :
Association Presse et Pluralisme
TSA 32649
91764 Palaiseau Cedex

BLACK BEAR PICTURES / STUDIOCANAL

Le mathématicien Alan Turing est incarné par l'acteur britannique Benedict Cumberbatch.

Alan Turing, casseur de codes

Le film « Imitation Game » se focalise sur le décryptage de la machine Enigma et la naissance de l'informatique. Un portrait incomplet du mathématicien britannique.

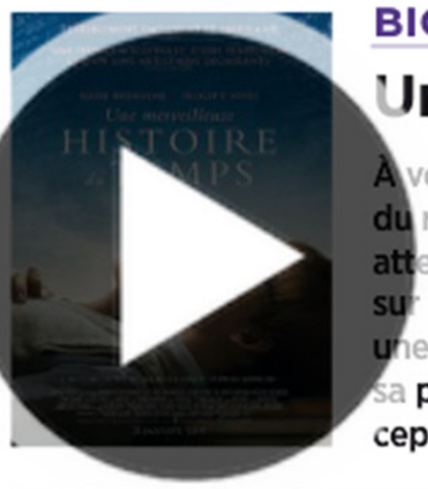
Domaine de Bletchley Park. Ce manoir cossu du comté du Buckinghamshire, au nord-ouest de Londres, a été le théâtre d'événements qui ont non seulement changé le cours de la Seconde Guerre mondiale mais aussi celui des sciences. C'est en effet à l'abri de ces hauts murs que la science des codes secrets, la cryptographie, a connu ses heures de gloire dès janvier 1940 grâce au décryptage des messages de l'armée allemande, chiffrés avec la célèbre machine Enigma. Un exploit qui permit aux Alliés, sinon de gagner la guerre, du moins de l'écourter. Au cœur de ces péripéties, Alan Turing, déjà considéré comme un brillant mathématicien.

Loin du biopic, le film *Imitation Game* du réalisateur Morten Tyldum se focalise sur l'altérité qui porte le personnage et son engagement moral. Chaque journée passée à travailler sans succès sur le code est en effet synonyme de davantage de victimes sur le continent européen. Turing en a profondément conscience. Quelques détails historiques mettent en lumière les débuts des sciences de l'information, omniprésentes aujourd'hui. Comme le recrutement des apprentis décodeurs par un concours de mots croisés : faire la grille du *Daily Telegraph* en moins de 12 minutes est toujours un exploit mais témoignait déjà du fait que l'informatique allie l'esprit à la connaissance et aux capacités de synthèse. On voit ainsi comment pour la première fois une machine mécanique — un immense assortiment d'engrenages que l'on adapte à chaque calcul — est petit à petit devenue un outil destiné au calcul universel.

Un mathématicien au destin tragique

Un bel hommage à l'ancêtre de ces machines qui permettent de naviguer, piloter, usiner, planifier... Même si on ne sait pas qui est réellement ce jeune mathémacien de génie qui insiste pour faire partie de l'équipe triée sur le volet affectée au décodage et qui viendra à bout de cette machine réputée inviolable. Le film survole aussi trop rapidement le destin tragique du mathématicien. Condamné en 1952, sept ans après la fin de la guerre, à la suite d'un fait divers lié à son homosexualité, il optera pour la castration chimique pour éviter la prison et finira par se suicider par empoisonnement au cyanure, le 7 juin 1954. Ce n'est qu'en 2013, qu'il a été gracié —à titre posthume — par la reine Élisabeth II. ■

Azar Khalatbari



BIOPIC

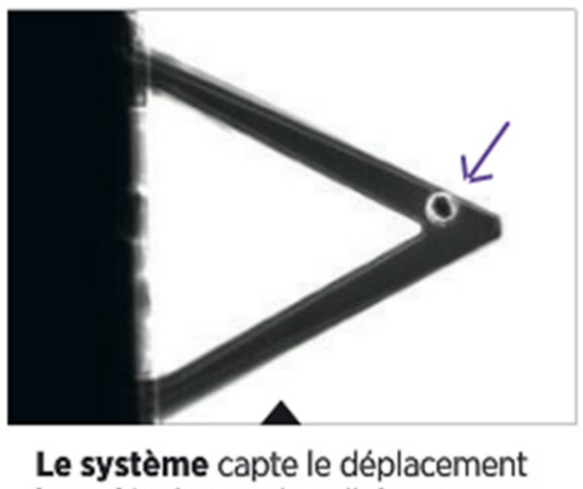
Une petite histoire de Stephen Hawking

À voir aussi sur les écrans : *Une merveilleuse histoire du temps,* l'adaptation du roman de la première femme du physicien britannique Stephen Hawking, atteint de dystrophie neuromusculaire. Jane Wild raconte son histoire d'amour sur les bancs de Cambridge au milieu des années 1960 et son choix de fonder une famille avec Stephen après la découverte de la maladie qui provoquera sa paralysie graduelle. Le film de James Marsh est touchant mais n'aborde cependant pas l'importance du travail scientifique de Hawking.

Un détecteur d'extraterrestres

Ce capteur ultrasensible, de l'épaisseur d'un cheveu, est capable de mesurer les plus infimes mouvements.

POUR RECHERCHER LA VIE sur d'autres planètes, les astronomes s'appuient principalement sur des systèmes de détection chimique. Ils espérent ainsi déceler certaines molécules caractéristiques des processus biologiques que nous connaissons sur Terre, comme le méthane *(lire aussi page 40)*. Mais si la vie extraterrestre existe sous une forme bien différente, comment la détecter ? « *Par le mouvement*, répond Giovanni Longo, chercheur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) en Suisse. *C'est un point partagé par tous les organismes vivants. Même lorsqu'aucun déplacement n'est visible, comme pour certaines bactéries, l'activité biologique provoque malgré tout des mouvements à l'échelle nanométrique* [milliardième de mètre]. »



Le système capte le déplacement de molécules ou de cellules, comme ici un ostéoblaste (flèche).

Déceler la vie sur le sol de Mars et dans les lacs de Titan

Pour les observer, les chercheurs de l'EPFL ont mis au point un capteur ultrasensible : un bras de levier d'une longueur de 200 micromètres (soit environ l'épaisseur d'un cheveu), capable de mesurer les plus infimes vibrations. Ces dernières sont enregistrées à l'aide d'un laser puis analysées par ordinateur. « *Notre appareil est capable de déceler la vie sur le sol de Mars, mais aussi en milieu liquide, par exemple dans les lacs de méthane de la lune Titan qui orbite autour de Saturne* », assure le physicien. Les scientifiques cherchent maintenant à établir si à chaque forme de vie correspond une fréquence de vibration particulière, ce qui leur permettrait de la caractériser. « *D'après nos résultats, les fluctuations engendrées par une bactérie ou par une cellule de mammifère sont bien différentes l'une de l'autre* », confirme déjà Giovanni Longo.
Reste à convaincre la Nasa et l'Agence spatiale européenne d'embarquer ce système de détection original à bord de leurs sondes d'exploration spatiale en complément des systèmes d'analyse existants. En attendant, l'outil pourrait servir dans l'industrie pharmaceutique pour tester l'efficacité des antibiotiques en détectant le moment où les bactéries cessent de bouger sous l'effet d'un traitement. ■ **Audrey Boehly**

Livres
Sciences fondamentales

Sous le voile du cosmos

Jacques Arnould,
Albin Michel, 297 p., 20 €

« Jamais Dieu n'a été si proche du voile du cosmos, jamais aussi il ne paraît s'y être aussi bien dissimulé. » Tout au long de son ouvrage, Jacques Arnould, théologien et historien des sciences, tente de démontrer la proximité de la foi avec la science. La foi évoquée ici n'est ni aveugle ni conquérante ou arrogante, mais bienveillante : elle serait la spécificité du XXIe siècle. Car la découverte de l'intimité de la matière ou l'étude des premiers instants de l'Univers constitueraient une expérience humaine bouleversante. Intéressant mais peu convaincant. ■ **Azar Khalatbari**

La Science asservie

Annie Thébaud-Mony,
La Découverte, 312 p., 21 €

C'est un livre coup de poing, par une sociologue bien connue pour son engagement dans la lutte (avec le toxicologue du CNRS Henri Pezerat, aujourd'hui décédé, à qui elle dédie le livre) contre le scandale de l'amiante. Mais ici, Annie Thébaud-Mony, directrice de recherche honoraire à l'Inserm, étend son propos à la radioactivité, aux substances chimiques et au plomb. Pour dénoncer la *« corruption de la science au service des intérêts privés de grands groupes industriels, avec la complicité active de l'État »*. Un réquisitoire contre la « stratégie du doute », cyniquement mise en œuvre face à l'évidence du danger. 312 pages qui dérangent. ■ **Dominique Leglu**

Dokeo — Je comprends comment ça marche

Annie Thébaud-Mony,
La Découverte, 312 p., 21 €

Vous êtes désemparés face aux interrogations de vos enfants, qui vous harcèlent de « comment » et de « pourquoi » ? Voilà le livre qu'il vous faut. Il répond de manière claire et ludique aux questions qui ne manqueront pas de vous être posées au quotidien. Qui allume les lampadaires le soir ? Où va le caca dans les toilettes ? Comment la clé ouvre-t-elle la porte ? Qui a fait mon livre ? Cet ouvrage saura satisfaire la curiosité insatiable des enfants de 4 à 7 ans. ■ **A. B.**

Le sanctuaire sacrifié des Incas

Sur le site de Pachacamac au Pérou, des archéologues ont découvert les traces d'une cérémonie « d'abandon volontaire ». Un rituel inca inédit en réaction à la brutalité des conquistadors au XVIe siècle.

Par Bernadette Arnaud. Photos : Peter Eeckhout

DES POISSONS, DES VÉGÉTAUX, des personnages portant des gerbes... Lorsqu'ils aperçoivent pour la première fois les décors ornant les parois d'adobe (terre crue séchée), en partie éboulées, de ce sanctuaire jusque-là inexploré, les archéologues retiennent leur souffle. Jamais, sur ce site de Pachacamac, l'immense métropole inca de la côte centrale du Pérou – dont le temple inspira Hergé pour les aventures de *Tintin et le temple du Soleil* –, ils n'avaient fait une découverte de cet ordre. Sur ce chantier de fouilles étudié depuis un demi-siècle, les chercheurs aperçoivent à leurs pieds une calebasse encore remplie de pigments et un pinceau. « *Cela a fait un choc ! Personne n'avait trouvé de peintures à Pachacamac depuis l'explorateur Albert Giesecke en 1938* », se souvient Peter Eeckhout, du Centre de recherche en archéologie de l'Université libre de Bruxelles (ULB), responsable du projet Ychsma depuis 1999. Mais les archéologues ne sont pas au bout de leur surprise. En progressant à l'intérieur des ruines, ils se rendent compte que le sol est jonché d'offrandes. « *Là encore, c'était une première !* », affirme le chercheur. Sous un soleil de plomb ils distinguent des *conopas*, des pierres noires des montagnes investies d'une charge sacrée par les Incas, ainsi que des coquillages précieux des eaux chaudes de l'Équateur (*Spondylus*), des ornements de plumes de perroquet d'Amazonie, des objets manufacturés parmi lesquels sept coupes en bois au pied serti de nacre... et des ossements, animaux et humains. Mais quelque chose intrigue aussitôt Peter Eeckhout et son équipe. « *Ces offrandes semblaient avoir été volontairement brisées. Pourtant, il ne s'agissait pas d'un pillage* », indique le chercheur, qui comprend peu à peu qu'il s'agit vraisemblablement des traces d'une rarissime cérémonie dite d'abandon volontaire.

L'idole en bois (partie supérieure) de Pachacamac découverte en 1938 dans un temple de la cité.

JULIO DONOSO / SYGMA / CORBIS

Même les objets les plus précieux ont été brisés

« *Ce sont les prêtres incas eux-mêmes qui ont dû procéder à cette dégradation afin de désacraliser le sanctuaire avant de le fermer définitivement* », poursuit Peter Eeckhout. Un événement majeur dans la vie du site dont les chercheurs soupçonnaient l'existence, mais qui n'avait encore jamais pu être mis en évidence. Tous les objets ont été cassés, même les plus précieux comme ces couronnes de plumes turquoise et émeraude ou ce vase chimu (1000-1470) aux motifs de félins, provenant du peuple du nord du Pérou. Ont aussi été retrouvés des fragments de textile déchirés ornés du dieu des Sican (700-1300), autre peuple de cette région de Lambayeque, tandis que des graines

La terrasse supérieure du temple du Soleil fait face à l'océan Pacifique. Cet édifice abritait deux sanctuaires : l'un dédié au dieu inca du Soleil (Inti) et l'autre à Pachacamac.

L'équipe de recherche du projet Ychsma fouille le site depuis cinq ans.

L'entrée du sanctuaire et ses décors peints où ont été découvertes des offrandes brisées, traces d'une cérémonie d'abandon volontaire du lieu célébrée par les prêtres incas.

Cet ornement de plumes bleues et jaunes provenant d'Amazonie a été également mis au jour dans le sanctuaire.

d'ishpingo (*Nectandra sp.*) jonchaient le sol. « *Il s'agit d'un hallucinogène puissant originaire d'Amazonie. Mêlées à de la bière de maïs (chicha), ces graines de grande valeur provoquent des transes et, consommées à haute dose, elles peuvent entraîner la mort. Elles étaient utilisées lors des cérémonies religieuses* », ajoute l'archéologue Milton Lujan Davila, codirecteur du projet. Mais ce sont des dizaines de perles de verre datant de la conquête espagnole (1532-1533) qui ont livré aux chercheurs la clé de l'ultime rituel dont ces lieux furent sans doute le théâtre. Pour comprendre les raisons d'un tel cérémonial, il faut en effet revenir aux heures les plus sombres de l'histoire inca, lors de l'arrivée des conquistadors sur le continent américain au début du XVI^e^ siècle. Ces chefs de guerre, qui agissent au nom de la très catholique Espagne, n'ont alors de cesse d'évangéliser par la force les populations locales et de détruire les symboles les plus visibles des anciens cultes comme les temples, les sanctuaires et les idoles, jugées blasphématoires. À ce titre, la cité dédiée à Pachacamac, le dieu « Créateur du monde », est l'une de leurs premières cibles. Arrivés sur place en 1533, les conquista-

PATHOLOGIES

Un dieu guérisseur très sollicité

Sanctuaire dédié au dieu guérisseur, le site de Pachacamac a livré de nombreuses tombes dont les restes ont fait l'objet d'analyses. Parmi les maladies identifiées sur la base des examens anthropophysiques réalisés sur les momies exhumées, figurent des pathologies létales telles que des cancers, la syphilis, la tuberculose, ou encore le rachitisme ou la maladie de Chagas. De nombreux enfants en bas âge ont également été trouvés. Un programme d'analyses ADN des populations du cimetière de Pachacamac a d'ailleurs été lancé en vue de déterminer de quels autres types d'affections ces défunts étaient atteints. Des travaux menés dans la perspective d'une identification plus large des maladies endémiques ou celles importées en Amérique par les conquistadors.

Chambre funéraire Ychsma (XI^e^ siècle) mise au jour près du sanctuaire peint, avec un enfant (à droite) et les paquets funéraires d'un homme et d'une femme.

Coupe en bois et coquillage après restauration.

Détail d'un textile peint. Ces trois objets figurent parmi les offrandes volontairement brisées.

Fragment de bouteille ychsma ornée d'un visage (XIe siècle).

dors imaginent en effet y installer la capitale de la Nouvelle Castille (l'actuel Pérou), avant finalement d'opter pour le site de Lima plus vaste, à trente kilomètres au nord. Pour ériger cette « Ciudad del Reyes », ils déportent les habitants de Pachacamac, utilisés comme main-d'œuvre, et leur interdisent de pratiquer leurs cultes en faisant régner la terreur. Hernando Pizarro, frère de Francisco Pizarro capitaine général de la Nouvelle Castille, fait ainsi irruption avec ses troupes dans la cité. Pénétrant dans le temple principal, il en ressort en brandissant l'icône en bois (huaca) du dieu avant de la jeter au sol.

Le plus grand centre cérémoniel andin

« *Il faut imaginer le cataclysme que représente un tel acte pour ces populations qui sont convaincues depuis la nuit des temps que le moindre déplacement de l'icône déclenchera immanquablement tremblements de terre et catastrophes* », explique Peter Eeckhout. Pachacamac était en effet le dieu le plus puissant de la côte. Le souverain inca quittait en personne ses hautes montagnes de Cuzco pour venir consulter sur place son oracle tant la divinité était investie d'un puissant pouvoir guérisseur.

Au fil du temps, Pachacamac était même devenu le plus grand centre cérémoniel de la région, une sorte de « Lourdes des Andes », des milliers de pèlerins traversant chaque année tout l'empire pour venir y prier. De très nombreuses traces matérielles de ce culte guérisseur ont été retrouvées par les archéologues qui ont fouillé plus de 300 tombes — sur les milliers existantes —mettant au jour des corps portant les traces de graves maladies.

Mais confrontés à l'extrême violence des conquistadors et à l'abandon progressif de la cité par une population décimée ou réduite en esclavage, les prêtres incas ont sans doute décidé de fermer secrètement le sanctuaire dans lequel ils officiaient. En détruisant eux-mêmes toute trace de leur culte, pour éviter que ces objets ne tombent aux mains de leurs oppresseurs. « *La cité de Pachacamac est l'un des premiers exemples, si ce n'est le tout premier, de ces cérémonies d'abandon* », indique Peter Eeckhout.

Des analyses menées en spectrométrie de fluorescence X à partir de 21 échantillons de couleur prélevés sur les peintures retrouvées ont, elles aussi, apporté leur lot de surprise. Si les pigments contenaient, comme les chercheurs pouvaient s'y attendre, de l'oxyde de fer, de l'arsenic et du cinabre, ils recélaient aussi… de l'or ! Preuve sans conteste de leur caractère sacré. « *Seuls quelques motifs ont pu jusqu'ici être identifiés*, précise Kusi Colonna-Preti, conservatrice en chef de la mission. *Les peintures de couleur rouge, jaune, noire, blanche, bleue, et verte ont été parfois disposées en plusieurs couches, mais les tremblements de terre ont considérablement affaibli la stabilité des structures. Nous nous sommes donc immédiatement attelés à leur enregistrement et à leur conservation.* »

Les archéologues ont protégé les enduits peints par du papier japon puis élevé à faible distance de petits parapets en briques d'adobe sans mortier, entre lesquels ils ont coulé du sable de rivière. De quoi patienter sans crainte jusqu'à leur restauration. L'inscription du site de Pachacamac sur la liste du Patrimoine mondial, qui devrait être prochainement demandée, devrait faciliter la préservation de ces inestimables trésors. ■

@NarudaaArnaud

CHRONOLOGIE

Quatre civilisations successives ont occupé le site de Pachacamac durant 1300 ans.

- **200-750** Lima
- **750-1000** Wari
- **1000-1470** Ychsma
- **1470-1533** Incas

Jean-Jacques Hublin, paléontologue

Chercheur entrepreneur

Ce spécialiste de l'évolution humaine mobilise high-tech, chimie et physique au service de sa discipline.

DEPUIS SON BUREAU MONACAL du Collège de France, Jean-Jacques Hublin savoure une vue fabuleuse sur les toits du Ve arrondissement de Paris. Expatrié — heureux — depuis dix ans en Allemagne, le paléontologue de 61 ans ne boude pas son plaisir de revenir régulièrement à Paris « *ville érotique* », pour y enseigner. Depuis octobre 2014, il est professeur invité dans cette institution qui privilégie les esprits atypiques. Ses cours succèdent à ceux d'Yves Coppens, qui salue en lui « *le meilleur de sa génération* ». Il n'est pas sûr que le compliment le fasse rougir. Non par manque de modestie, mais Jean-Jacques Hublin, fils de pieds-noirs employés dans l'aéronautique, a toujours visé l'excellence, revendiqué le goût de la compétition et mène son institut de recherche à Leipzig « *comme un entrepreneur* ».

En 2003, le Français a été choisi par le prestigieux institut Max-Planck pour fonder un département d'évolution humaine dans cette coquette ville de l'ex-RDA. La philosophie du Max-Planck, structure privée très différente de celles de la recherche française, mise tout sur des « *leaders* » ambitieux, libres de former leur équipe et dotés d'un budget à six zéros. « *J'ai 70 personnes sous mes ordres, les moyens de recruter les meilleurs au monde,* raconte le chercheur. *Mais je suis évalué tous les trois ans et responsable sur mes deniers personnels !* » Esprit touche à tout, Hublin a attiré des géologues, des archéologues, des physiciens, des mathématiciens ou des généticiens dont il parle avec fierté et sensibilité. Nombre d'entre eux ont ensuite essaimé dans le monde. « *Nous avions le sentiment que Leipzig était l'endroit où il fallait être, pluridisciplinaire et efficace* », témoigne l'archéologue Marie Soressi, aujourd'hui à Leyde (Pays-Bas). « *Jean-Jacques est un modèle d'émulation. Son charisme et son sens de l'humour sont inspirants. Je le vois comme un esprit universel, qui utilise sa connaissance de nombreuses disciplines au profit de questions importantes pour l'évolution humaine* », assure Matthew Skinner, désormais à l'université du Kent (Royaume-Uni).

PHILIPPE GROLLIER PASCO&CO

Il assume préférer les États-Unis à la France

Le paléoanthropologue a aussi mis très tôt les nouvelles technologies à son service : plusieurs scanners — dont l'un mobile qui peut aller « radiographier » les fossiles aux quatre coins de la planète —, des imprimantes 3D qui délivrent des moulages à la demande, des stations pour manipuler virtuellement les fossiles, des spectromètres de masse, etc. Jean-Jacques Hublin et ses équipes sont devenus les « experts » qui font parler les fossiles (*lire* S. et A. *n° 745, mars 2009*). « *Personne n'a autant fait pour l'avancement des connaissances en matière d'évolution humaine* », assure l'Américain Richard Klein du haut de sa chaire d'anthropologie biologique à l'université Stanford (Californie). « *Qu'il en fasse autant avec trois francs six sous, surtout en temps de crise, et on en reparle...* », murmure cependant un collègue français. De son côté, Jean-Jacques Hublin ne regrette « *pas un ins-*

BIO EXPRESS

1953 Naît en Algérie.
1961 Arrive en France.
1978 Doctorat en paléontologie humaine et des vertébrés
1981 Entre au CNRS.
1991 Thèse sur l'émergence d'*Homo sapiens* archaïque.
1992 Enseigne à Berkeley (États-Unis)
1999 Professeur à l'université de Bordeaux.
2004 Crée le département d'évolution humaine de l'Institut Max Planck à Leipzig.
2011 Fonde l'ESHE, Société européenne pour l'étude de l'évolution humaine.
2014 Professeur invité au Collège de France.

© VOLKER STEGER

tant le temps où, au CNRS, chacun pleurait sur les malheurs de la recherche et les budgets de l'université ». Il assume préférer les États-Unis, où il a enseigné à Berkeley, Stanford ou Harvard, et a le sentiment de s'être donné les moyens de satisfaire sa passion pour la paléoanthropologie.

Une passion qui remonte à son enfance dans la banlieue grise de Creil (Oise), au sein d'une famille modeste, qui ne comprend pas ce qui l'anime. Une visite à la galerie de paléontologie à Paris et un premier livre sur les dinosaures décident de son destin. À 11 ans, une amie de sa mère s'inquiète « *de ce petit garçon qui collectionne les "faux cils"* » . À 15 ans, il décroche son premier chantier de fouilles, en omettant de révéler son âge, et se retrouve ainsi en Corrèze, sur un site datant de la transition entre néandertaliens et *Homo sapiens* (-40 000 ans environ). Depuis, la question du rapport entre ces deux espèces le fascine toujours autant. S'il a longtemps douté de l'existence d'hybrides, le décryptage du génome de Neandertal par le département de génétique de l'Institut de Leipzig a confirmé que celui-ci nous a légué environ 2 % de son ADN.

Toutefois, Jean-Jacques Hublin se refuse à imaginer que la cohabitation des deux hommes ait été amoureuse et imagine plutôt des viols, qui accompagnent généralement les colonisations. « *C'est peut-être parce que j'ai vécu enfant dans une Algérie en guerre*, admet-il. *Ce n'est pas être pessimiste que de constater que les membres du genre* Homo *sont violents. Je ne vois pas pourquoi il y aurait eu une parenthèse où nous ne l'aurions pas été.* » Il raille gentiment le courant du « paléoangélisme » qui voit notamment en Neandertal un modèle de chasseur-cueilleur écolo et pacifique. « *Il est passionné par la diversité du vivant et par ce qui nous distingue en tant qu'êtres humains du point de vue biolo- ue mais aussi comportemental. le meilleur avec l'invention de Mais aussi pour le pire, avec erre* », précise l'anthropolo- Nicolas Zwyns, aujourd'hui à versité de Californie, à Davis. *m'intéresse plus à ce qui nous ngue en creux, nous* H. sapiens, *ce qui nous unit à Neandertal* », cède Jean-Jacques Hublin, magine que ce dernier pou- être « *câblé différemment sur e plan neurologique, différent dans ses relations aux autres* ». D'ailleurs, s'il avait une machine à remonter le temps, qu'aimerait-il savoir avant tout ? Si l'homme de Neandertal pleurait. ■ **Rachel Mulot**

Scanners et autres technologies de pointe sont utilisés par Jean-Jacques Hublin et son équipe pour faire « parler » les fossiles.

POUR EN SAVOIR PL

- **Le site de l' Leipzig :** www.eva.mp
- **Les cours d Jacques Hub vidéo :** http:/ fr/816coursh
- **Sa conféren inaugurale au de France :** h fr/816inaugu

« Je le vois comme un esprit universel, qui utilise sa connaissance de nombreuses disciplines au profit de questions importantes pour l'évolution humaine »

Matthew Skinner, paléoanthropologue, université du Kent (Royaume-Uni)

Des perles danoises venues d'Égypte antique

L'analyse de ces bijoux révèle l'existence dès l'âge du bronze de voies d'échanges entre la Scandinavie et le Bassin méditerranéen.

Le verre bleu des perles de la tombe de Store Kongehøj, au Jutland, a la même composition que celui d'Amarna, en Égypte.

NATIONAL MUSEUMDENMARK

Bleu profond, turquoise, blanc, rouge, vert... 23 perles de verre retrouvées au Danemark, datées de 3400 ans avant notre ère, proviendraient d'Égypte et de Mésopotamie. C'est l'étonnant résultat de l'analyse menée par les scientifiques du Musée national du Danemark, à Copenhague, du musée Moesgaard, à Aarhus, et de l'Institut de recherche sur les archéomatériaux (Iramat) d'Orléans. Ces perles, qui paraient les défunts ont été découvertes au XIXe siècle dans plusieurs sépultures danoises de l'âge du bronze parmi lesquelles les sites d'Olby (1896), Hesselager (1884) ou Store Kongehøj, au Jutland.

Plus surprenant encore, certaines seraient même issues de l'atelier d'Amarna (Égypte), où aurait été fabriqué le verre bleu cobalt... du masque de Toutankhamon ! « *Il s'agit des plus anciens verres égyptiens jamais mis au jour en dehors de la Méditerranée* », explique Jeanette Varberg, archéologue du musée Moesgaard et coauteure de l'étude publiée dans le *Journal of Archaeological Sciences*. « *Ces résultats ont été obtenus grâce à l'utilisation d'un spectromètre de masse à plasma (LA-ICP-MS)* », précise Bernard Gratuze, directeur de l'Iramat où ont été effectuées les analyses et cosignataire de l'étude. La composition chimique des oligo-éléments contenus dans ces perles a été comparée à celle de matériaux découvert à Amarna et à Nippur (Mésopotamie), concluant à une origine identique. Autant de liens ignorés jusque-là.

SKALKMAGAZINE

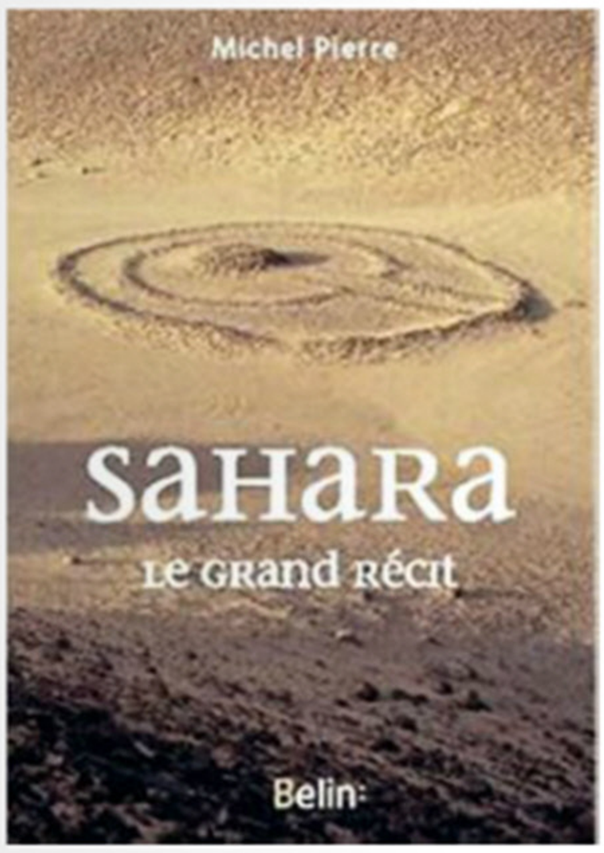
Les défunts de l'âge du bronze, comme ici à Hesselager, étaient parés de perles colorées.

Les perles ont suivi, en sens inverse, la route de l'ambre

Cette découverte a également permis aux scientifiques de mieux appréhender, en retour, les chemins qu'a pu suivre — notamment en Égypte — l'ambre originaire des pays du Nord retrouvé dans la sépulture du pharaon Toutankhamon. « *L'"or du Nord" rencontré en Méditerranée provenait des côtes de la mer Baltique, du Jutland danois, du sud de la Suède, ou du nord-ouest de la Frise, en mer du Nord* », poursuit Jeanette Varberg. L'ambre et les perles de verre ont donc pu transiter dès l'âge du bronze le long des mêmes circuits commerciaux, *via* des réseaux fluviaux tels que le Weser-Elbe, le Rhin, ou l'Oder, puis rejoint la plaine du Pô et la mer Adriatique *via* les Alpes.

Bernard Gratuze préfère cependant rester prudent. Faisant référence à la découverte dans l'épave d'Uluburun, au large de la Turquie, d'une cargaison de lingots de verre brut datant de l'âge du bronze, il n'écarte pas l'hypothèse que les perles retrouvées au Danemark aient pu être fabriquées avec un matériau égyptien... mais dans un atelier de verrier situé hors d'Égypte. « *Si nos méthodes permettent de retrouver la source incontestable de la matière première que seuls les Égyptiens et les Mésopotamiens savaient produire à l'époque, les perles auraient pu aussi avoir été façonnées ailleurs* », rappelle-t-il. Ce que les verriers vénitiens font aujourd'hui encore, avec de la pâte venue d'Europe centrale, d'Inde ou de Chine. ■

Bernadette Arnaud



Michel Pierre, Belin, 232 p., 28 €

Sahara, le grand récit

Avec ses 9 millions de kilomètres carrés, le Sahara, plus grand désert du monde, couvre à lui seul un tiers du continent africain. Univers minéral aux étendues souvent hostiles et aux températures records, cet immense espace a longtemps été perçu sous un angle essentiellement naturel, alors que l'homme le parcourt depuis des milliers d'années, comme en témoignent les peintures et gravures rupestres millénaires du Tassili n'Ajjer algérien, ou du Messak libyen. Creuset de nombreuses cultures et civilisations, parcouru de voies commerciales dès la plus haute Antiquité, c'est sur l'histoire humaine, autant que climatique, géographique ou géopolitique de cette vaste étendue que revient en connaisseur l'auteur, Michel Pierre. En abordant l'histoire de ce désert, des origines à nos jours, ce « grand récit » traite aussi la question des enjeux multiples dont le Sahara fait l'objet du fait de la richesse de son sous-sol, ou encore du sanctuaire qu'il représente aujourd'hui pour les groupes terroristes. Immensité de beauté et de silence longtemps sublimée par les poètes, le Sahara est aussi un lieu de tragédies. « *Le défi est désormais de réinscrire ces espaces dans un processus de paix* », analyse l'auteur. ■

Bernadette Arnaud

L'ATLAS GLOBAL

Christian Grataloup et Gilles Fumey (dir), Les Arènes, 152 p., 24,80 €

Tout peut se cartographier. C'est l'un des enseignements de cet ouvrage conçu par une équipe d'historiens et de géographes renommés. On y découvre des cartes historiques d'avant l'Europe, avec la planète de l'*H. sapiens*, ou les routes de la peste noire. Mais aussi des cartes des univers imaginaires de Tintin et Corto Maltese ou des mondes d'Internet. ■ **B. A**

SYMBOLES ET MYSTÈRES — L'ART RUPESTRE DE L'ÎLE-DE-FRANCE

Alain Bénard, Errance, 222 p., 39 €

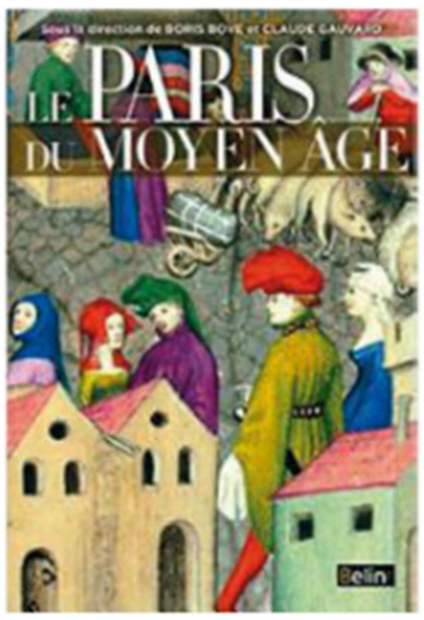
La France est un pays d'art pariétal. Mais saviez-vous que 1200 abris ornés de gravures préhistoriques existent en région parisienne ? Qu'il s'agisse des sites de Coquibus, de la Ségognole ou de l'abri à la Peinture, ce très beau livre dévoile l'art rupestre méconnu de Fontainebleau, grâce aux surprenantes photos en clair-obscur d'Hervé Paitier. ■ **B. A.**

LA TRAVERSÉE DES ALPES

Antoine de Baecque, Gallimard, 425 p., 24,50 €

Prix Ptolémée au Festival international de géographie de Saint-Dié, prix Augustin-Thierry aux Rendez-vous de l'histoire de Blois en 2014, *La Traversée des Alpes, Essai d'histoire marchée* raconte, sous une forme d'écriture très originale, une randonnée devenue aventure d'histoire expérimentale développée au gré des 650 kilomètres du GR5 qu'a parcouru l'auteur entre Lac Léman et Méditerranée. ■ **B. A.**

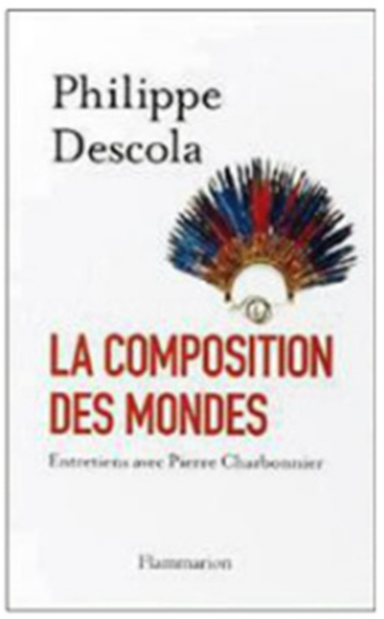
Le Paris du Moyen Âge



Boris Bove et Claude Gauvard (dir.), Belin, 277 p., 28 €

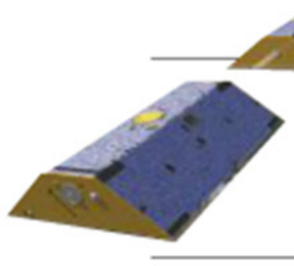
Au Moyen Âge, Paris est la plus grande ville d'Occident avec 250 000 habitants. Une cité qui se concentre essentiellement autour des Ier, IIe et Ve arrondissements actuels. C'est aussi la ville qui cumule une importante activité économique, religieuse, intellectuelle et politique, quand les autres cités européennes ne brillent que dans deux ou trois de ces domaines. Comment expliquer le phénoménal développement qu'a connu Paris au Moyen Âge ? C'est l'objet de ce livre passionnant, auquel ont contribué neuf historiens. Du rôle des monastères à la naissance des universités, des saints parisiens aux rois en leurs palais, des bourgeois de Paris aux soins des âmes et du corps, avec la création des hôpitaux, en passant par la vie des Parisiennes, la vie quotidienne, la criminalité, la justice, ou la prostitution, c'est un Paris aux mille facettes qui est livré ici. Une ville où, au XIIIe siècle, 70 % de la population est trop pauvre pour être taxée, et où les 1 % les plus riches assument 80 % de l'impôt. ■ **B. A.**

La Composition des mondes



Philippe Descola, Flammarion, 378 p., 23 €

Dans ce livre d'entretiens réalisés par Pierre Charbonnier, le célèbre anthropologue Philippe Descola revient sur sa vie de chercheur, et la trajectoire qui l'a mené de l'École normale supérieure au Collège de France. En rappelant au passage que la naissance de cette passion pour les sciences sociales est née dans l'enfance avec « *le parfum déjà un peu suranné des voyages de découverte et d'exploration de la fin du siècle précédent* ». Après avoir abordé les questions qui animaient l'anthropologie des années 1970-1980, Philippe Descola explique comment se fait le choix d'un « terrain » chez un anthropologue, et, dans son cas, de quelle façon l'attrait exercé par l'Amazonie l'a conduit à mener ses recherches aux côtés des Indiens Achuar (Jivaros), en Équateur. Il explique surtout la genèse de son important ouvrage *Par-delà nature et culture*, où est exprimée, à travers quatre compositions du monde (animisme, naturalisme, totémisme, analogisme), la façon dont les humains envisagent leurs relations avec les non-humains, qu'il s'agisse des plantes, des animaux ou des esprits. ■ **B. A.**



GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) est une mission conjointe de la Nasa et de l'agence spatiale allemande lancée en 2002 pour effectuer des mesures détaillées de la gravité terrestre.

SWOT (Surface Water Ocean Topography), du Cnes et de la Nasa, devrait être lancé en 2019. Il mesurera la hauteur des plus petits cours d'eau et couvrira l'intégralité de la surface terrestre.

Le satellite, vigie des stocks d'eau douce

Niveau des fleuves et des nappes phréatiques, fonte des glaciers... Les satellites offrent un nouveau regard sur les eaux continentales. L'enjeu : comprendre les systèmes hydrographiques pour mieux gérer la ressource dans le futur.

Par Jean-François Haït

La Californie a soif. Il manque 42 km³ d'eau pour compenser la sécheresse persistante que connaît cet État américain, a annoncé l'équipe de Jay Famiglietti, du Jet Propulsion Laboratory de la Nasa, lors du congrès de l'Union géophysique américaine le 16 décembre dernier. Depuis 2011, les deux grands bassins des fleuves Sacramento et San Joaquin ont ainsi perdu près de 15 km³ d'eau par an... dont les deux tiers contenus dans les nappes phréatiques adjacentes. L'agence spatiale américaine se serait-elle reconvertie dans le forage ? Nullement. C'est à sa mission spatiale Grace *(voir le lexique)* qu'on doit ces résultats inquiétants. Grace appartient en effet à une flottille de satellites qui, depuis une dizaine d'années, permet aux hydrologues d'en savoir beaucoup plus sur les eaux continentales et de mieux évaluer cette précieuse ressource. « *Dans beaucoup d'endroits du monde, les réseaux d'hydrologie au sol servant à mesurer le niveau des cours d'eau, des lacs ou des nappes phréatiques sont incomplets* », explique en effet Frédéric Frappart, du laboratoire Géosciences environnement Toulouse (GET). Il est difficile de déployer des instruments sur l'ensemble d'un bassin fluvial et d'en relever régulièrement les résultats. Multiplier les forages dans les nappes phréatiques l'est encore davantage. Enfin, l'information sur les réserves d'eau n'est pas toujours rendue publique : elle est en effet hautement stratégique dans certaines régions du globe et de nombreux États sont peu disposés à les diffuser *(lire l'interview p. 58)*.

M I SANCHEZ / AP / SIPA

KARI / ESA

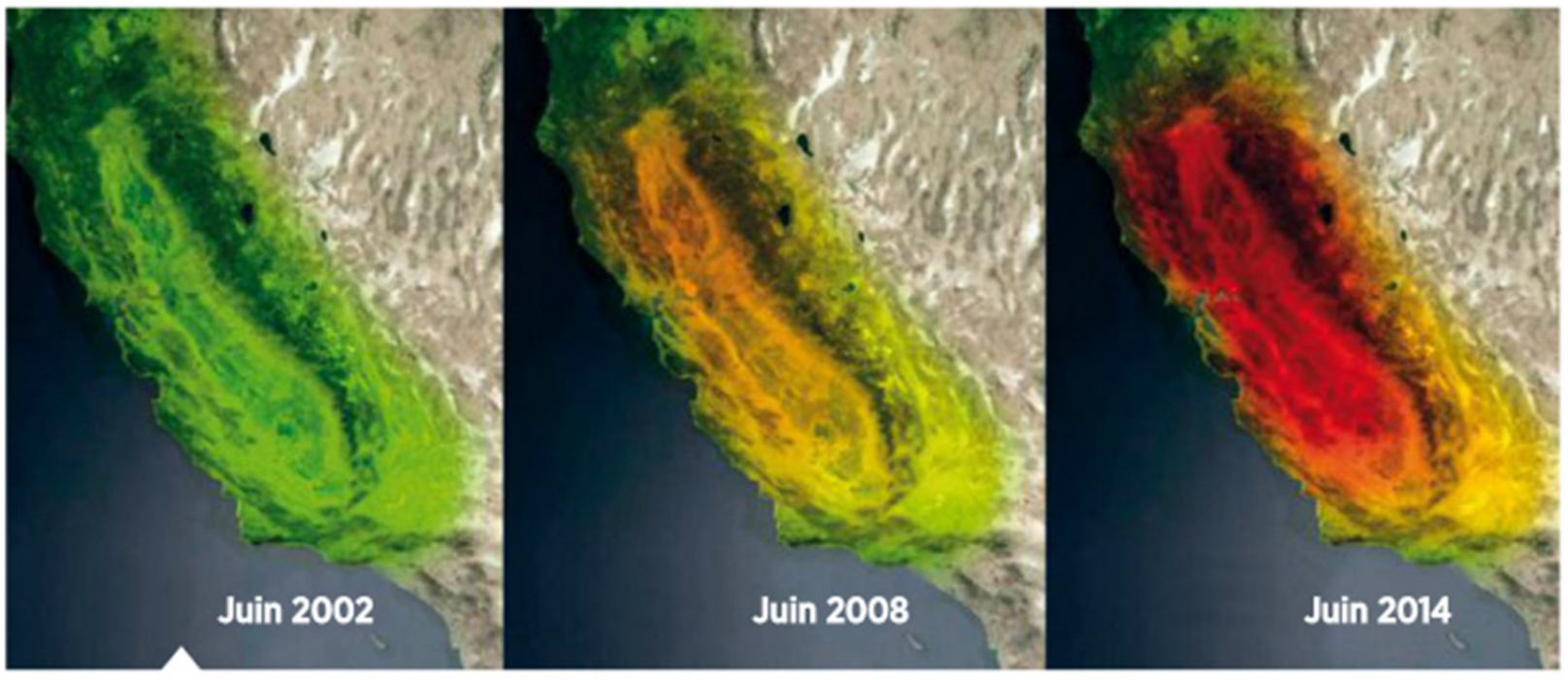
L'observation de l'Himalaya par satellite (ici, la région de l'Everest vue par Kompsat-2) a montré que la fonte des glaciers s'accélérait.

Mesurer les variations du champ de gravité terrestre

Pour accéder à cette information, les hydrologues ont donc désormais un choix de technologies spatiales complémentaires. Ainsi, la mission Grace a-t-elle été conçue pour mesurer le champ de gravité terrestre. Son principe est pour le moins original : elle se compose de deux satellites évoluant à 500 km d'altitude sur la même orbite, normalement distants de 220 km. À l'aide d'un système émettant des micro-ondes, la distance entre les deux engins est mesurée en permanence avec une extrême précision. Dès que le premier satellite rencontre une variation du champ de gravité, sa distance par rapport au second est modifiée, et cette modification enregistrée. Les variations sont d'intensité différente selon qu'elles sont provoquées par les océans, les

Un réservoir à sec, à Cupertino, en Californie. La Nasa évalue à 42 km³ le volume d'eau nécessaire pour en finir avec la sécheresse dans cet État.

montagnes, les fleuves ou les lacs. D'où son intérêt pour quantifier les ressources. « *Cependant, les détails que peut voir Grace ne sont que de 100 km sur une région, et de 300 à 400 km quand il s'agit d'observer des variations temporelles du champ de gravité sur cette même région. Cela limite la mission à l'observation de phénomènes à très grande échelle* », souligne Guillaume Ramillien, du GET. Grace permet ainsi de quantifier la variation des masses d'eau du bassin de l'Amazone tout au long de l'année, la fonte des glaciers du Groenland ou de la calotte polaire antarctique... Ou le niveau de très grandes nappes phréatiques comme celles de Californie, fortement afffectées par les pompages pour l'irrigation et l'usage domestique. « *Mais Grace mesure indistinctement les eaux de surface et souterraines*, précise Guillaume Ramillien. *Si on veut réellement connaître la quantité d'eau d'une nappe phréatique dans un bassin fluvial, il faut soustraire la quantité d'eau de surface, que l'on peut estimer notamment à l'aide de l'altimétrie spatiale.* »



Ces images, prises dans le cadre du programme spatial Grace de la Nasa, montrent la réduction (du vert vers le rouge) des réserves en eau de la Californie.

Cette dernière technique fait appel à un radar placé à bord du satellite, qui envoie un signal vers le sol. Ce signal est réfléchi par la surface d'eau puis revient ▶

au satellite où il est détecté. Ce temps de retour est directement fonction de la hauteur d'eau. De nombreux satellites autres que Grace reposent sur ce principe dont ceux de la série Jason (Cnes et Nasa), Envisat (Agence spatiale européenne), Saral-Altika (Cnes et Agence spatiale indienne).

La sécheresse de 2005 en Amazonie a pu être étudiée

Les premiers ont déjà été très largement utilisés pour mesurer la hauteur des océans. Mais ils sont donc aussi très utiles sur les eaux continentales. *« Depuis 1993, nous disposons de données sur des échelles de dix jours à un mois, sur beaucoup plus de points de mesure que n'en fournissent les réseaux hydrologiques au sol »*, explique Frédéric Frappart. Mesurer la hauteur de l'eau sur de telles échelles temporelles permet d'observer les grands cycles saisonniers des fleuves liés au climat en déterminant, par exemple, l'impact de la saison des pluies dans les régions tropicales. La méthode permet aussi de visualiser les plaines inondées par les crues des fleuves, qui apportant des sédiments qui rendent ces terres fertiles et les transforment en niches de biodiversité. Ainsi, une équipe internationale menée par Frédéric Frappart a pu étudier les effets de la sécheresse exceptionnelle qui a frappé en 2005 le bassin de l'Amazone, qui s'étend sur quelque 6 millions de kilomètres carrés. Elle a pour cela combiné les mesures d'altimétrie radar d'Envisat réalisées sur plus de 500 points, les clichés pris par plusieurs satellites, l'observation des précipitations par le satellite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) et les données de Grace. Sur l'ensemble du bassin, les données spatiales ont révélé que le niveau de l'eau était de 70 % inférieur à son niveau moyen de 2003-2007. Les effets de la sécheresse sur les transferts d'eau entre les différents « réservoirs » — fleuve, plaines et nappes — ont été finement étudiés. Les résultats ont ainsi pu expliquer les impacts environnementaux et socio-économiques observés, variables selon les régions du bassin : incendies de forêt, perte de biodiversité, affluents à sec, navigation perturbée, etc.

> « Nous disposons de données sur beaucoup plus de points qu'avec les mesures au sol »
>
> **Frédéric Frappart**, chercheur au laboratoire Géosciences environnement de Toulouse (GET)

La fonte accélérée des glaciers alpins se confirme

Si l'Amazone est essentiellement tributaire des précipitations, les fleuves d'autres régions du monde dépendent aussi de la fonte des glaciers pour leur alimentation en eau. Or, cette fonte s'accélère sous l'effet du réchauffement climatique. Les glaciers ont ainsi perdu en moyenne 40 à 50 cm d'épaisseur sur la première décennie du XXIe siècle. Pour parvenir à ces résultats, les scientifiques utilisent des images satellite avec lesquelles ils construisent des modèles numériques de terrain, qui donnent l'élévation de la surface de glace. Étienne Berthier et ses collègues du Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales, à Toulouse, ont ainsi mesuré la fonte des glaciers du massif du Mont-Blanc à l'aide de données des satellites Spot 5 et Pléiades. Résultat : une perte d'environ 1 mètre par an entre 2003 et 2012, contre 0,3 m entre 1979 et 2003. L'accélération de la fonte des glaciers des Alpes se confirme donc. Selon les pro-

F. GALLAND

GÉOPOLITIQUE

FRANCK GALLAND CHERCHEUR ASSOCIÉ À LA FONDATION POUR LA RECHERCHE STRATÉGIQUE ET DIRECTEUR GÉNÉRAL DU CABINET (ES)²

« Certains pays du Moyen-Orient sont presque à sec »

Quel est l'état des réserves en eau mondiales ?
On ne parle pas encore de guerres de l'eau, mais l'histoire s'accélère. Dans certains pays, du Sahara et du Moyen-Orient notamment, les nappes phréatiques ont été pompées intensivement et s'épuisent de façon alarmante. L'Arabie saoudite dépend à 80 % de ces nappes, la Libye à 70 %. Quant à l'Iran, sa capitale Téhéran est presque à sec. La situation est également critique au Yémen.

Qu'en est-il des fleuves ?
La région du Nil bleu suscite une grande inquiétude. Ce fleuve prend sa source en Éthiopie et rejoint le Nil blanc au Soudan pour former le Nil. L'Égypte en dépend à 98 % pour son alimentation en eau. En vertu d'un traité de 1955, elle partage son débit avec le Soudan. Mais l'Éthiopie, qui n'avait jusqu'à présent rien revendiqué, connaît une forte croissance économique et démographique et réclame désormais sa part. Elle construit un barrage sur le Nil bleu qui sera achevé en 2017. Cela risque de provoquer des tensions avec ses voisins.

Quel rôle peuvent jouer les technologies spatiales ?
Un rôle majeur. Il est par exemple très difficile de connaître les limites des nappes phréatiques que se partagent souvent plusieurs pays, ou de surveiller le débit d'un fleuve. L'accès à l'information satellitaire permettra de la partager entre des instances régionales de dialogue, afin d'éviter des conflits. ■

Propos recueillis par J.-F. H.

AIRBUS DEFENSE & SPACE - IMAGESPOT 5

Le satelite Spot 5 ne peut photographier les nappes phréatiques, mais ses images mettent en évidence les pompages réalisés dans ces réserves d'eau, comme ici dans l'oasis de Koufra, en Libye, pour irriguer les cultures sur pivots ou hexagonales (en vert).

jections, près de 90 % pourraient avoir disparu en 2100. *« Cette perte pourrait avoir un impact sur la ressource en eau, notamment en août et septembre. C'est en effet à l'époque où les glaciers fondent qu'on a besoin d'irriguer les cultures en aval »*, souligne Étienne Berthier. D'autres régions du globe sont dans le même cas, comme l'immense bassin du fleuve Indus, au Pakistan, tributaire de la fonte des glaciers de l'Himalaya.

Cependant, une hydrologie spatiale « opérationnelle » qui suivrait en permanence les fleuves, mesurerait les nappes phréatiques et la fonte des glaciers, permettant de faire des prévisions, n'est pas pour tout de suite. *« Aujourd'hui nous savons mesurer la hauteur d'eau directement depuis l'espace uniquement sur des fleuves très larges*, constate Frédéric Frappart. *Mais la couverture spatiale est incomplète et la cartographie globale des hauteurs d'eau n'est pas encore disponible. »* C'est pourquoi les hydrologues attendent beaucoup du lancement du satellite Swot *(voir lexique)* en 2019. Quant à la gravimétrie spatiale, les marges d'erreur restent élevées. Et le successeur de Grace, qui décollera en 2017, assurera la continuité dans les données sans pour autant améliorer la précision. *« Si on voulait réellement gérer la ressource en eau avec la gravimétrie spatiale, il faudrait augmenter le nombre de satellites dédiés*, conclut Guillaume Ramillien. *C'est une question de volonté politique. »* L'aggravation des tensions autour des ressources en eau, notamment au Moyen-Orient, pourrait la stimuler. *(Lire aussi p. 42 notre article sur les origines de l'eau sur Terre.)* ■

GLACIOLOGIE

Vidange sous l'Antarctique

C'est grâce au satellite Spot 5 qu'un phénomène jusqu'alors inconnu a été mis en évidence sous l'Antarctique en 2012. *« Nous avons pu déterminer qu'une zone de 200 km² s'était affaissée à la surface sur près de 70 m de profondeur. C'était du jamais vu »*, raconte Étienne Berthier, du Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales à Toulouse. L'équipe fait alors l'hypothèse que cet effondrement est dû à la « vidange » brutale d'un lac sous-glaciaire. Celui-ci s'est brusquement déversé dans une autre cavité, avec pour conséquence l'effondrement du plafond de glace.

JOHNER/PLAIN PICTURE

Le Plan de protection de l'atmosphère (PPA) d'Île-de-France qui prévoyait d'interdire les flambées au 1er janvier dans Paris et 435 communes a été ajourné.

La bataille du chauffage au bois

L'interdiction des cheminées à foyer ouvert a été levée in extremis en Île-de-France, leur nocivité avérée ne faisant pas consensus. De nouveaux poëles et inserts très performants arrivent sur le marché pour limiter les rejets de particules fines.

Même le coin du feu n'échappe plus aux polémiques. Après avoir été menacées de fermeture, les cheminées ouvertes de Paris et de 435 communes avoisinantes ont obtenu en toute fin d'année, après intervention de Ségolène Royal, ministre de l'Écologie et du Développement durable et de l'Énergie, le droit de continuer à crépiter. Un gage de liberté pour les uns, un risque pour la santé des Franciliens pour les autres, qui dénoncent l'apport en particules fines dans l'atmosphère des foyers ouverts. L'interdiction de leur utilisation devait en effet entrer en vigueur au 1er janvier dans le cadre du Plan de protection de l'atmosphère (PPA) mis en œuvre par l'État après une longue procédure de concertation et destiné à diminuer les taux de particules inférieures à 10 micromètres (PM10) dans l'air ambiant. Les teneurs élevées sont ainsi responsables de 1400 décès prématurés par an sur les 42 000 estimés en France et réduit de six mois la durée de vie de chaque habitant d'Île-de-France selon la vaste étude Aphekom menée dans 25 villes de 12 pays d'Europe. Pourtant, la mesure a aussitôt été combattue

1400
décès prématurés par an, en Île-de-France, sont imputables aux particules fines.

PPA Le plan de protection de l'atmosphère définit les actions permettant de ramener les teneurs en polluants dans l'atmosphère sous les seuils réglementaires. En France, 36 PPA couvrent toutes les agglomérations de plus de 250 000 habitants.

PARTICULES FINES Particules de moins de dix micromètres en suspension dans l'air. Elles peuvent être d'origine naturelle (poussières produites par l'érosion ou des éruptions volcaniques, émissions de la végétation) ou anthropique (rejets industriels, trafic routier, chauffage).

RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE Différence entre la capacité théorique de production d'énergie d'un appareil et sa production réelle. Le rendement est toujours compris entre 0 et 100 %.

sur le plan économique et politique. Les vendeurs de bois et l'association de consommateurs Que Choisir ont ainsi contesté les chiffres du PPA qui estime à 25 % la part de responsabilité des feux de bois dans les émissions de PM10 en Île-de-France, soit le deuxième émetteur derrière le trafic routier. Selon eux, ces émissions ne représentent en fait que 4 % du total des particules mesurées puisqu'il faut y inclure les apports de particules extérieures à la région, ces infimes poussières pouvant voyager sur de longues distances *(lire l'encadré)*. Une globalisation dont le Plan de protection de l'atmosphère ne peut tenir compte : en tant qu'outil local, il constitue en effet une réponse ciblée sur les 25 % d'émissions partant de son territoire. La ministre de l'Écologie a, quant à elle, fustigé cette mesure jugée « excessive » et surtout susceptible « de remettre en cause la filière bois ».

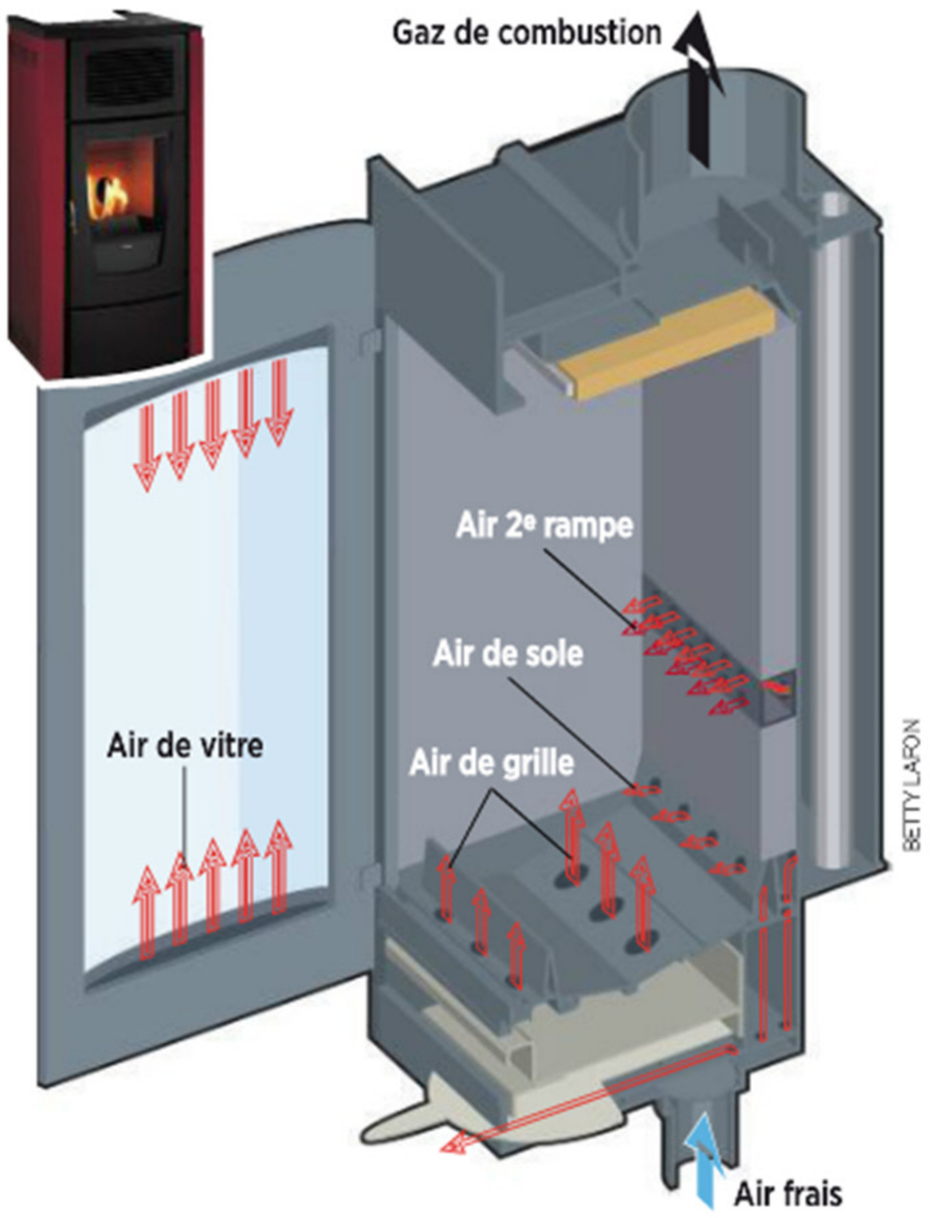
Le bois, un allié contre le réchauffement climatique

C'est en effet tout le paradoxe : fauteur de pollution locale, le bois est aussi un outil de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre. Si sa combustion émet bien du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère, celui-ci est dans le même temps fixé par les arbres. Les émissions de gaz à effet de serre de bois-énergie sont 11 fois inférieures à celles du fioul, cinq fois à celle du gaz et quatre fois à celle de l'électricité. « *Depuis dix ans, tous les "plans climat" mis en place par les pouvoirs publics ont confirmé que l'usage du bois comme source d'énergie doit être multiplié par cinq pour les réseaux de chaleur et les installations industrielles. L'objectif de 9 millions de ménages se chauffant au bois (contre 7,4 millions aujourd'hui) a même été fixé en France pour 2020* », rappelle le Syndicat des énergies renouvelables (SER). Le tout, à condition de ne pas brûler ce bois n'importe comment ! Sans quoi, c'est la qualité de l'air respiré par chacun qui en est dégradée... D'où l'interdiction voulue par le PPA.

Ainsi, ce qui est condamné aujourd'hui, c'est la cheminée « à l'ancienne », largement ouverte, chauffant 2 mètres seulement autour du foyer et proposant un maigre rendement énergétique de 10 %. La priorité est donc donnée à la commercialisation des inserts, poêles et chaudières. Mais là encore, pas n'importe quel modèle. Une trentaine d'industriels, réunis sous le label « Flamme verte », proposent des matériels de nouvelle génération. Depuis le 1er janvier, le crédit impôt accordé aux ménages investissant dans un chauffage au bois n'est désormais consenti que pour des appareils estampillés « 5 étoiles ». Ce qui exclut tous les équipements antérieurs. « *Et les industriels annoncent la création de nouvelles catégories à 6 ou 7 étoiles* », se félicite Olivier Grelier, responsable certification produits chez le fabricant de poêles Supra.

Ces étoiles correspondent à des ▶

Une meilleure combustion entraîne des émissions réduites



Ce poêle à bois de nouvelle génération est équipé de nombreuses arrivées d'air permettant une meilleure combustion du bois et d'une grande partie des gaz.

LÉGISLATION

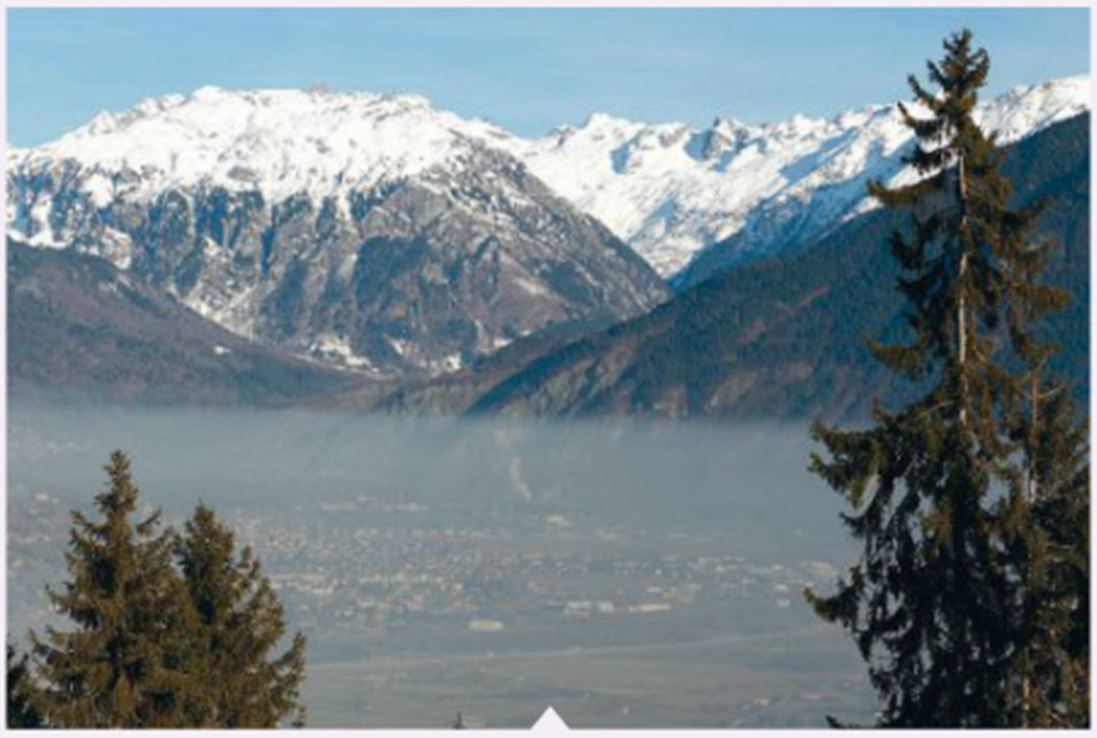
L'Europe chasse les particules fines

La qualité de l'air est une affaire de santé publique que l'Europe prend très au sérieux. Les Européens ne doivent pas subir un air contenant 40 microgrammes par mètre cube en moyenne annuelle, la barre des 50 µg/m³ ne devant pas être dépassés plus de 35 jours par an et la moyenne des 80 µg/m³ ne devant pas être atteinte. La France fait actuellement l'objet d'un contentieux européen pour non-respect des valeurs limites de la qualité de l'air dans 15 zones de son territoire. Les particules fines provoquent à court terme des irritations et de la toux pouvant provoquer des hospitalisations et à long terme des pathologies chroniques comme l'infarctus du myocarde, les affections respiratoires et des cancers comme celui de la vessie.

OPÉRATION PILOTE

En vallée de l'Arve, la traque aux cheminées ouvertes

Longtemps, les habitants de la vallée de l'Arve (Haute-Savoie) ont attribué la mauvaise qualité de l'air aux camions et voitures filant vers le tunnel du Mont-Blanc. Jusqu'à ce qu'en 2011 les mesures de l'Ademe montrent que 50 % des particules fines viciant l'air des montagnes proviennent du chauffage au bois, loin devant l'industrie (21 %) et le trafic automobile (23 %). L'information est d'autant plus spectaculaire que le bois est une tradition solidement ancrée par le droit dit d'affouage qui permet, en vertu du code forestier, de réserver gratuitement une partie des bois communaux pour l'usage domestique des habitants. Or l'Arve fait partie des 11 zones françaises qui ne respectent pas les objectifs de la Commission européenne pour les particules fines d'une taille inférieure à 10 micromètres (PM10). Sur près de 20 000 chauffages au bois répertoriés dans la vallée, plus de la moitié sont des cheminées à foyer ouvert ou des inserts anciens peu efficaces. Les 41 communes concernées ont donc instauré dès 2013 un « fonds air-bois » unique en France pour faciliter le passage à l'acte des habitants. L'investissement moyen pour un appareil performant « 5 étoiles » étant d'environ 5000 €, les communes, l'État, la région et l'Ademe apportent donc une aide de 1000 €. En un an, 900 foyers ont ainsi changé d'appareil de chauffage. À la fin de l'opération, prévue en 2018, ce sont près de 3000 appareils de chauffage qui devraient être remplacés.



G. YETCHMENIZA/LE DAUPHINE/PHOTO PQR/MAXPPP

Début janvier, la vallée de l'Arve a enregistré un pic de pollution record, dû notamment à l'émission de particules fines par le chauffage au bois.

normes d'émissions de plus en plus draconiennes élaborées par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) et vérifiées par des organismes techniques. Ainsi, les poêles, inserts et chaudières à bûches 5 étoiles répondent à une norme d'émissions inférieures à 90 milligrammes de particules par mètre cube d'air (mg/m^3) pour un rendement énergétique supérieur à 70 %. Demain, les « 6 étoiles » garantiront moins de 50 mg/m^3 pour un rendement supérieur à 75 % et les « 7 étoiles » moins de 40 mg/m^3 pour un rendement similaire. Si l'on considère un bilan annuel en usage principal de chauffe, une cheminée ouverte émet 97 kg de particules. Un appareil 5 étoiles descend à 3 kg !

« En améliorant la combustion, on réduit les émissions et on augmente le rendement », résume Olivier Grelier. La technique principale passe par la « double combustion » *(voir l'infographie p. 59)*. *« Outre l'apport en air sous le foyer, l'appareil est équipé d'autres arrivées d'oxygène au niveau de la partie inférieure de la chambre de combustion — la sole — et au-dessus des flammes pour que cet apport provoque l'inflammation des gaz imbrûlés »*, poursuit Olivier Grelier.

Ramonage et bois adapté restent indispensables

Le rendement est par ailleurs facilité par l'utilisation de nouveaux matériaux comme les briques réfractaires qui isolent parfaitement le foyer et diffusent plus lentement la chaleur. Ces nouveaux appareils n'ont donc plus rien à voir avec ceux qui étaient sur le marché il y a seulement dix ans. *« Et c'est là où le bois-énergie rencontre le même problème de renouvellement que le parc automobile,* souligne Gilles Aymoz, chef du service qualité de l'air à l'Ademe. *Les progrès sur la qualité de l'air se feront sentir seulement dans quelques années quand toutes les cheminées et les vieux inserts auront été remplacés par du matériel neuf. »*

Reste que ces progrès techniques sont inopérants si le conduit de cheminée n'est pas ramoné deux fois par an pour conserver un excellent tirage et si on y brûle du bois inadapté. Raison pour laquelle les professionnels du bois de chauffage, réunis sous le label « France bois bûches », recommandent les feuillus (hêtre, chêne, châtaignier) et refusent les résineux, peu caloriques. Ils recommandent en outre de 15 à 24 mois de séchage pour atteindre un taux d'humidité inférieur à 20 %, que l'utilisateur peut vérifier grâce à un humidimètre. Ségolène Royal a remporté une première victoire contre ce qu'elle appelle une *« écologie punitive »*. Mais la question du feu de cheminée aux émanations toxiques ne manquera pas de se poser à nouveau. ■ **Loïc Chauveau**

100 000
cheminées ouvertes dans la zone sensible du périmètre du PPA de Paris.

87 %
la part des émissions des feux de cheminées dans le secteur de l'habitat, représentant 27 % des émissions de particules fines en Île-de-France.
(SOURCE : DRIEE.)

Sur les pavés, la fortune

En Grande-Bretagne, un recyclage poussé des déchets urbains permet de récupérer des métaux rares comme le platine ou le palladium.

ADRIAN DENNIS/AFP

La poussière recèle des particules de métal issues des gaz d'échappement.

DU PLATINE, IL N'Y A QU'À SE BAISSER pour le ramasser ! C'est la démonstration que vient de faire la branche britannique de Veolia, la multinationale française de la propreté, qui assure que les rues et trottoirs de nos villes en abondent. « *Nos balayeurs ramassent tous les ans 165 000 tonnes de déchets divers*, expose Estelle Brachlianoff, responsable Veolia pour l'Irlande et le Royaume-Uni. *Nous voulions éviter la mise en décharge, facturée plus de 120 € la tonne, de l'ensemble de ce volume, et nous avons donc voulu savoir ce qu'il y avait dedans pour tenter de le valoriser.* »

« *Nous avons décelé des particules de palladium, de platine et de rhodium à des concentrations de quelques parties par million semblables à celles que l'on trouve dans les gisements miniers* », s'enthousiasme-t-elle. Ces métaux rares proviennent de la dégradation des pots catalytiques des voitures, dans lesquels ils contribuent au traitement des gaz imbrûlés. Ces systèmes de dépollution laissent partir des fragments d'une taille de 0,25 à 2 mm avec les gaz d'échappement.

Le butin est revendu à l'industrie microélectronique

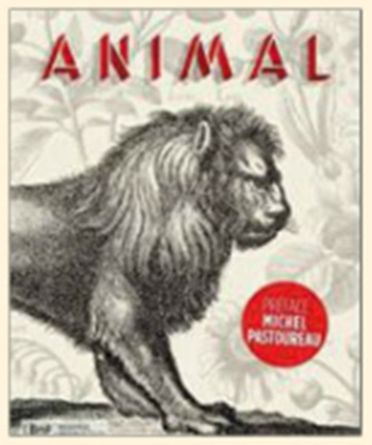
Les ingénieurs ont donc imaginé une chaîne de traitement qui a débouché sur la construction d'une usine d'une capacité de 50 000 tonnes située à Ling Hall dans le centre de l'Angleterre. On y récupère les plastiques recyclables et on y composte les crottes de chiens. Surtout, selon le bilan révélé en décembre dernier, 1,5 t de platine, 1,3 t de palladium et 800 kg de rhodium ont été collectés en un peu plus d'un an d'exploitation. La revente de ces métaux rares au secteur de la microélectronique a apporté àVeolia un revenu annuel supplémentaire de 130 000 €, en plus des économies sur la mise en décharge. Dans un avenir proche, l'entreprise espère traiter le million de tonnes de déchets britanniques annuels et importer le concept en France. Transformant ainsi nos rues en véritables « mines urbaines ». ■ **Loïc Chauveau**

Plantes et insectes, des relations durables

Vincent Albouy, Glénat, 190 p., 19,99 €

Voici 400 millions d'années que plantes et insectes évoluent de conserve, se servant mutuellement de nourriture, cachette, nid ou vecteurs amoureux. L'entomologiste Vincent Albouy détaille ici joliment ces relations complexes avec l'appui de clichés choisis de l'agence Biosphoto. Grand sphinx fuchsia butinant le chèvrefeuille, mante guyanaise imitant une branche moussue... On imagine la patience qu'il a fallu aux différents photographes pour planquer et saisir sur le vif ces époustouflantes rencontres. ■ **Rachel Mulot**

Animal



Rémi Mathis et Valérie Sueur-Hermel (dir.), éditions de la BNF, 168 p., 38 €

Un bestiaire luxueux, foisonnant et inattendu émerge des collections du Département des estampes et de la photographie de la Bibliothèque nationale de France. L'animal, longtemps négligé par les historiens, recouvre dans cette merveilleuse anthologie sa puissance de sujet. L'hallucinant éléphant gravé à l'eau-forte de Goya, les silhouettes méfiantes des chats lithographiés par Manet, les profils de taureau sérigraphiés par le roi du *pop art* Roy Lichtenstein : juste un avant-goût parmi la centaine de surprises surgies de la fascination artistique pour l'univers des bêtes. ■ **Andreina De Bei**

Le Changement climatique pour les nuls

Olivier Nouaillas, First Editions, 458 p., 22,95 €

Pour tout comprendre de l'année climatique qui s'ouvre avec, en point d'orgue, les négociations internationales de Paris en décembre, voici une encyclopédie qui fait le tour des questions scientifiques sur le climat, des moyens d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre, et des actions à mener pour s'adapter aux dérèglements en cours. Cette somme se consulte comme un dictionnaire dans lequel on picorera tout au long de l'année les réponses aux questions que l'on se pose. ■ **L. C.**

MITOCHONDRIE Présents en plusieurs centaines d'exemplaires dans chaque cellule d'un organisme, ces organites possèdent leur propre ADN. Ils seraient les vestiges d'anciennes bactéries.

ATP Adénosine-5'-triphosphate. Le carburant de toutes les cellules de tous les organismes vivants. Cette molécule est produite en majorité dans les mitochondries.

NAD Nicotinamide adénine nucléotide. Molécule présente dans toutes les cellules vivantes qui permet la formation de l'ATP.

La souris qui rajeunit

Des chercheurs sont parvenus à inverser le vieillissement d'un organisme animal. Au cœur de ces recherches : la mitochondrie, véritable centrale énergétique de la cellule. À quand l'application chez l'homme ?

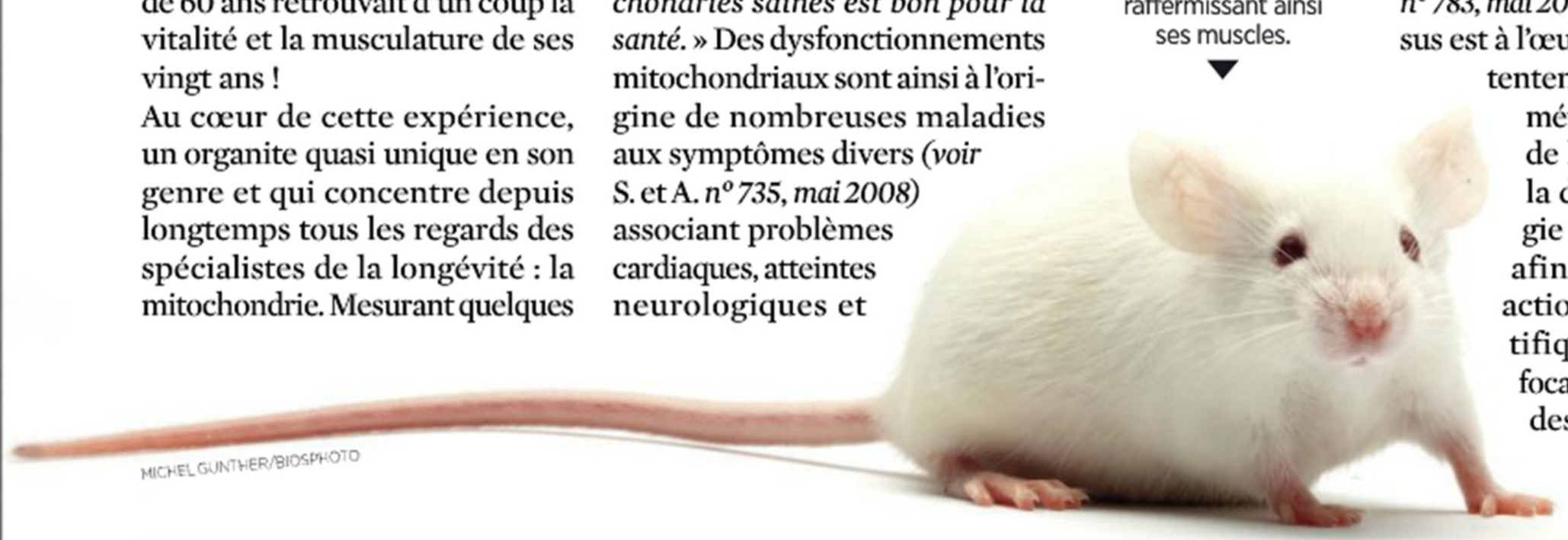
Par Hervé Ratel

Une souris décatie, en fin de vie qui retrouve subitement sa vigueur, les muscles de sa prime jeunesse et des artères de souriceau. Non seulement son vieillissement semble stoppé mais, encore plus extraordinaire, inversé. Demain, chez l'être humain ? C'est l'objectif avoué du professeur David Sinclair, de l'école médicale de Harvard (Boston, États-Unis), et de son équipe. En donnant à une souris de deux ans une molécule spécifique, du NAD *(voir lexique ci-dessus)*, ils sont parvenus à rajeunir ses muscles, leur conférant la qualité de ceux d'une souris de 6 mois. Comme si une personne de 60 ans retrouvait d'un coup la vitalité et la musculature de ses vingt ans !

Au cœur de cette expérience, un organite quasi unique en son genre et qui concentre depuis longtemps tous les regards des spécialistes de la longévité : la mitochondrie. Mesurant quelques millièmes de millimètre, elle est présente à plusieurs centaines d'exemplaires dans chaque cellule dont elle constitue la centrale énergétique, en charge de fabriquer le carburant nécessaire à sa survie. Les chercheurs le savent depuis longtemps : sa qualité est essentielle dans le processus qui produit le vieillissement d'un organisme.

Des mitochondries saines, c'est bon pour la santé

« *Nous savons que des mitochondries de piètre qualité conduisent à des symptômes liés à l'âge*, résume David Sinclair. *Et nous savons à l'inverse que posséder des mitochondries saines est bon pour la santé.* » Des dysfonctionnements mitochondriaux sont ainsi à l'origine de nombreuses maladies aux symptômes divers *(voir* S. et A. *n° 735, mai 2008)* associant problèmes cardiaques, atteintes neurologiques et rénales, paralysies ou difficultés motrices. Quand les mitochondries sont déréglées, c'est chaque cellule de notre organisme qui en paye les conséquences. Ces dix dernières années, de nombreux travaux ont également dévoilé l'importance dans la longévité de molécules ou de voies de signalisation liées d'une manière ou d'une autre à la mitochondrie. Qu'il s'agisse de conférer 40 % de vie en plus à une souris *(voir* S. et A. *n° 660, février 2003)* par le biais de la manipulation de l'IGF-1, un facteur de croissance, ou de vivre plus longtemps et mieux en adoptant un régime très frugal dit de restriction calorique *(voir* S. et A. *n° 783, mai 2012)*, le même processus est à l'œuvre : les chercheurs tentent d'agir sur les voies métaboliques en charge de la production et de la distribution d'énergie dans un organisme afin de moduler leurs actions. Certains scientifiques se sont même focalisés sur les sirtuines, des enzymes métaboliques, ou sur le resvératrol, un



Après avoir reçu durant une semaine la coenzyme NAD, une souris en fin de vie a vu ses mitochondries s'améliorer, raffermissant ainsi ses muscles.

MICHEL GUNTHER/BIOSPHOTO

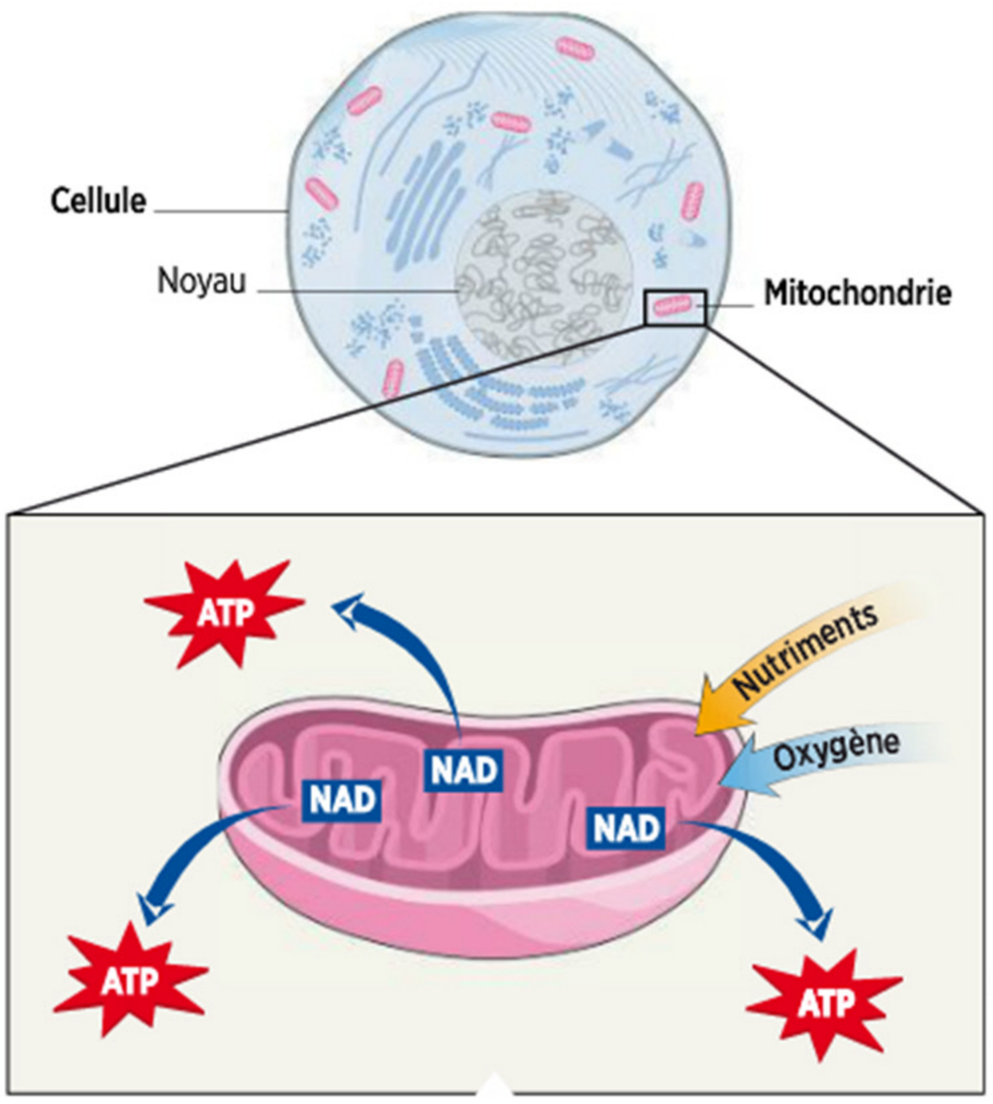
Mesurant quelques millièmes de millimètre, les mitochondries (en rose) sont présentes à plusieurs centaines d'exemplaires dans chacune de nos cellules.

polyphénol présent notamment dans le raisin (et le vin rouge...), agissant sur les sirtuines, et que l'on pense doté d'effets anti-âge. Tous ces mécanismes ou molécules se retrouvent dans le voisinage immédiat et direct des mitochondries.

Dans chaque cellule, une coenzyme au rôle essentiel

C'est en élargissant son champ d'étude, longtemps concentré sur l'élucidation du mécanisme de ces sirtuines, que l'équipe de David Sinclair a obtenu de nouveaux résultats spectaculaires en parvenant à rajeunir une souris de 2 ans. Comme le rapporte l'étude publiée dans la revue spécialisée *Cell*, le rôle du NAD est désormais sur la sellette. Présente dans toutes les cellules de notre corps, cette molécule a été un acteur négligé par la recherche ces dernières années. Or, son rôle se révèle essentiel : cette coenzyme aide en effet différentes enzymes à faire correctement leur travail durant les réactions qui président à la formation de l'ATP, le carburant cellulaire fabriqué dans les mitochondries. En tandem avec les sirtuines, il permet à la cellule d'entretenir un dialogue fécond avec ses mitochondries. Car fabriquer du carburant ne suffit pas : encore faut-il que celui-ci soit acheminé à bon port et en bonne condition aux éléments cellulaires qui en ont besoin. Dans ce cadre, le NAD joue le rôle d'oléoduc à l'intérieur de chaque cellule. Plus globalement, il semble avoir un rôle essentiel dans la communication de cellule à cellule. Il pourrait même, mais cela est encore débattu, jouer le rôle de neurotransmetteur en véhiculant l'information entre les nerfs et les cellules cibles.

Seulement, plus on vieillit, plus ce réseau de NAD s'étiole. Résultat : les mitochondries ne peuvent plus convoyer leur carburant jusqu'aux organites cibles. Et c'est là que les travaux — sur la souris — des chercheurs américains font ▶



BETTY LAFON

Respirez, mangez, vivez ! Si nous mangeons et respirons, c'est pour une raison physiologique vitale : faire tourner les mitochondries présentes à l'intérieur de chaque cellule de notre corps. Nutriments et oxygène constituent en effet les matières premières essentielles permettant à ces organites de produire de l'ATP, le carburant cellulaire universel des organismes vivants. Pour produire de l'ATP au sein de chaînes de biosynthèse, la mitochondrie utilise notamment plusieurs rouages indispensables, dont la molécule NAD.

DR/GOPAL MURTI/BSIP

ÉTUDE

Du sang jeune améliore la cognition des vieux rongeurs

Dracula et Nosferatu auraient adoré la méthode de rajeunissement testée par le professeur Tony Wyss-Coray et son équipe, de l'université Stanford (États-Unis). Ils ont en effet transfusé des souris âgées de 18 mois avec le plasma de jeunes souris de trois mois pour une étude publiée dans *Nature Medicine* en mai 2014. Et les résultats sur le cerveau des animaux vieillissants sont spectaculaires. D'un point de vue structurel, les chercheurs ont observé un accroissement du nombre des neurones et une amélioration de la plasticité des synapses. Ce rajeunissement des structures cérébrales s'est naturellement traduit par une amélioration notable des fonctions cognitives des vieux rongeurs qui se sont alors rapprochées de celles de jeunes individus : une meilleure mémoire et des performances accrues lors des tests de labyrinthe. Au vu de leurs excellents résultats, les chercheurs sont passés sans plus attendre à une étude sur des patients. Elle a démarré à la fin de l'année dernière et inclut des malades d'Alzheimer. « *L'essai devrait durer jusqu'à cet été*, précise Tony Wyss-Coray. *C'est une étude en double aveugle avec placebo pour laquelle il nous est impossible d'avoir des résultats avant sa fin.* » Toutefois, le chercheur est confiant et persuadé que la méthode devrait améliorer le sort des malades. « *Je ne pense pas que nous serons capables d'inverser le vieillissement et de faire en sorte que les gens paraissent plus jeunes*, prévient-il. *Mais s'il faut en croire nos études sur l'animal, il semble possible de renverser certains des processus en œuvre lors du vieillissement. J'espère que la recette nous permettra au moins de garder les gens en bonne santé plus longtemps.* » C'est pour cette raison que l'équipe compte très vite mener aussi des tests sur d'autres malades atteints de pathologies neurodégénératives, comme Parkinson. Il semble en effet acquis que se cachent dans le sang jeune des molécules capables de contrecarrer les effets de l'âge. Une étude similaire de l'université Harvard (États-Unis), publiée dans *Science* également en mai 2014, penchait pour l'importance d'un facteur de différenciation, le GDF-11. Mais est-il le seul impliqué ? De prochains travaux s'efforceront de tirer cela au clair.

STANFORD UNIVERSITY

« Il existe de nombreux facteurs susceptibles d'avoir une action positive sur un cerveau et un corps vieillissants »

Tony Wyss-Coray, neuroscientifique, professeur à l'université Standford, aux États-Unis

▸ rêver car en administrant du NAD une semaine durant à un rongeur en fin de vie, ils ont constaté un effet « Dorian Gray » totalement incroyable : les mitochondries ont retrouvé une nouvelle jeunesse, raffermissant les muscles de l'animal et améliorant leur résistance à l'inflammation. Ainsi, en restaurant le réseau de communication intracellulaire vacillant d'un animal âgé, David Sinclair et son équipe pourraient bien avoir mis le doigt sur un mécanisme essentiel pour la longévité. « *C'est la première fois qu'on met en évidence chez la souris un lien entre le vieillissement et une bonne communication entre le noyau cellulaire et ses mitochondries* », s'enthousiasme David Sinclair.

Le NAD pourrait-il constituer un filtre de jouvence efficace pour l'être humain ? La vieillesse serait-elle un naufrage réversible ? Telles sont les questions qui viennent immédiatement à l'esprit au vu de si spectaculaires résultats. Même si la plus grande prudence est de mise. « *Le NAD est effectivement une molécule totalement passionnante qui m'a occupé plusieurs années durant*, s'enthousiasme Pierre Rustin (CNRS, hôpital Robert-Debré, Paris). *Mais il ne faut pas tirer de conclusions hâtives : le vieillissement est un phénomène très différent d'un animal à l'autre. Ce que l'on réussit chez la souris n'est pas forcément transposable à l'homme.* » Ce qui n'empêche pas David Sinclair de franchir le pas. La prochaine étape de son travail consistera ainsi à restaurer la fonction mitochondriale défaillante chez… des personnes âgées. Avec l'espoir qu'un traitement à base de NAD permette, du moins dans un premier temps, de lutter contre les innombrables maladies liées à l'âge, comme les accidents vasculaires cérébraux (AVC). Il pourrait également contrecarrer des affections comme le cancer, les maladies inflammatoires ou le diabète de type 2, pour lesquels les mitochondries jouent un rôle essentiel. Bref, si vous ignoriez l'existence de ces organites avant, mieux vaudrait vous habituez à eux car vous n'avez pas fini d'en entendre parler… ■

Par le Dr Pierre Miquel

2 fois plus

de risque d'accouchement prématuré en cas d'herpès génital au premier ou second trimestre de grossesse qu'en l'absence d'infection virale selon une étude américaine. Et ce, en tenant compte des autres facteurs de risque. Le traitement par antiviraux ramène ce risque au niveau de celui des femmes enceintes témoins non infectées.

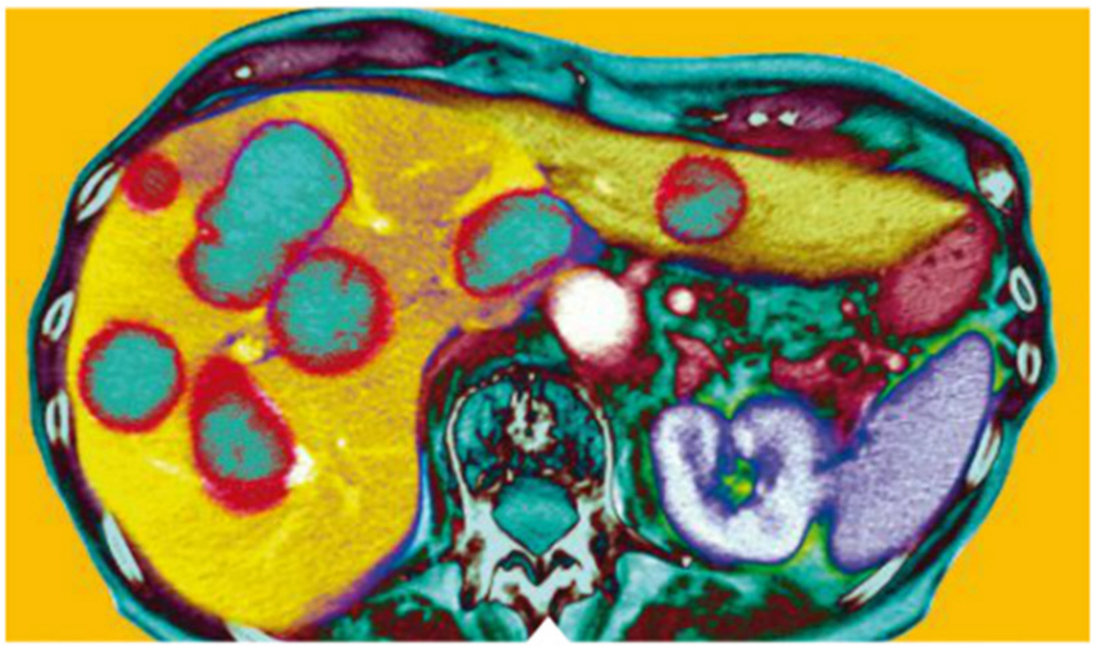
American Journal of Epidemiology, décembre 2014

NEUROLOGIE

Mieux combattre les facteurs de risque des céphalées chroniques quotidiennes

La revue de 160 publications le confirme : le risque de voir des céphalées épisodiques se transformer en céphalées chroniques quotidiennes (plus de 15 jours par mois et plus de 4 heures par jour en l'absence de traitement depuis plus de 3 mois) est fortement augmenté en cas d'anxiété (+50 %), de dépression (2 à 3 fois plus), d'insomnie avec ronflements ou de somnolence diurne excessive (4 fois plus). La prévention passe donc par la lutte contre ces facteurs de risque

Current Pain and Headache Reports, janvier 2015.



SPL/PHANIE

Cellules cancéreuses hépatiques (scanner axial).

CANCÉROLOGIE

Des thérapies mini-invasives pour les métastases du foie

Le foie est l'un des principaux sièges des cancers secondaires suite à un cancer primitif, et ces métastases sont généralement considérées comme incurables. Pourtant, certaines options thérapeutiques peu invasives laissent entrevoir la possibilité de stopper leur progression lorsqu'elles n'excèdent pas 4 cm. Tout d'abord, la radiothérapie stéréotaxique d'ablation, une radiothérapie externe guidée par imagerie dont le but est de « casser » l'ADN des cellules cancéreuses au moyen de très fortes doses de rayons en un temps très court. L'ablation par radiofréquence, dite thermoablation, consiste, elle, à détruire les cellules tumorales au moyen d'un courant électrique de haute fréquence produisant des températures locales de plus de 60 °C. Quant à l'électroporation irréversible, elle permet de casser les membranes des cellules malades par l'application d'un champ électrique de forte intensité. Ces thérapies permettent d'assurer un contrôle local de ces tumeurs dans 60 à 95 % des cas pendant 12 à 18 mois.

Current Oncology Reports, janvier 2015.

PNEUMOLOGIE

Attention au diagnostic hâtif de BPCO chez les obèses

L'essoufflement est un signe fréquent de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO), surtout chez les obèses où il est, de surcroît, plus précoce. Ce qui ne veut pas dire que tous les obèses essoufflés sont atteints d'une BPCO ! Comme le montre une étude menée sur 5500 sexagénaires, le diagnostic de BPCO est avancé sans preuve objective d'obstruction bronchique à la spirométrie (exploration fonctionnelle respiratoire) plus souvent chez les obèses (57 % des cas) que chez les non-obèses (44 %).

Chest, novembre 2014

CARDIOLOGIE

Peut-être un risque accru d'AVC en cas d'ostéoporose

L'ostéoporose pourrait faire craindre la survenue d'un accident vasculaire cérébral (AVC) selon une étude menée à Taiwan comparant 2500 sujets âgés de plus de 50 ans souffrant de cette maladie osseuse et 13 000 témoins. En cinq ans de suivi et après ajustement selon l'âge et le sexe, on observe davantage d'AVC en cas d'ostéoporose (+ 24%). L'absence d'activité physique et la consommation de tabac associées à des facteurs immunologiques pourraient expliquer en partie cette association, qui mérite d'être vérifiée.

Bone, mars 2015

DERMATOLOGIE

Le henné noir interfère dans des examens médicaux

L'application de henné sur les doigts peut compromettre... des examens médicaux ! C'est le cas en ce qui concerne l'« oxymétrie de pouls », une méthode qui permet de détecter rapidement au bout des doigts les fluctuations de saturation en oxygène dans le sang pouvant annoncer une détresse respiratoire. Sauf s'il s'agit de henné rouge ! Selon une étude menée chez 100 femmes, chacune étant son propre témoin (une seule main décorée), le henné rouge n'interfère pas de la même manière que le henné noir, bleu ou pourpre avec les rayonnements rouge et infrarouge de l'examen.

Medscape, 6 décembre 2014.

M. HARVEY/CORBIS

Appliqué sur les doigts, le henné noir a une incidence sur l'oxymétrie de pouls.

Les probiotiques sont-ils bénéfiques pour l'organisme ?

Ces compléments alimentaires contribuent à rééquilibrer la flore intestinale. Avec des effets dans la prévention ou le traitement de pathologies gastro-intestinales.

DIS-MOI QUI TU HÉBERGES, je te dirai qui tu es ! Depuis quelques années, au travers d'ouvrages et documentaires à succès (1), les recherches concernant le système digestif ont trouvé un large écho auprès du public. Cet organe complexe a, en effet, bien d'autres fonctions que celle d'assimiler les aliments. Le système nerveux entérique abrite en effet le microbiote — 100 000 milliards de bactéries non pathogènes dont l'ensemble des génomes additionnés compte 150 fois plus de gènes que le génome humain. Un grand nombre d'études montre qu'un déséquilibre de la composition de la flore intestinale peut participer à l'apparition ou à la diffusion de maladies digestives (Mici) mais aussi systémiques — cancer, Parkinson, diabète de type II— et jouer un rôle dans l'anorexie et l'obésité (*lire* S. et A. *n° 815, janvier 2015*). Découvrir des moyens de maintenir ou réparer cet équilibre est donc devenu un objectif majeur. Une quête dans laquelle les probiotiques, ces compléments alimentaires à base de micro-organismes vivants supposés bénéfiques à l'organisme, font figure de candidats idéaux. Avec un emballement parfois regrettable. *« Les probiotiques pâtissent des erreurs commises par l'industrie alimentaire qui, à la fin des années 2000, a noyé le consommateur de publicités sur des produits laitiers avec des "allégations santé" [...] qui, ne s'appuyant pas sur des études scientifiques de bon niveau, ont depuis disparu de nos publicités »*, écrit ainsi la professeure en nutrition Francisca Joly Gomez (2). Ces derniers n'en restent pas moins prometteurs.

100 000 milliards

Le nombre de bactéries commensales qu'abrite le microbiote de notre tube digestif, soit 10 fois plus que le nombre de cellules dans notre corps.

Il faut distinguer pro- et prébiotiques

Selon l'Organisation mondiale de la santé, un aliment dit probiotique *« contient des micro-organismes vivants qui, ingérés en quantité suffisante, exercent des effets bénéfiques sur la santé de l'hôte »* (3). Il existe de nombreuses souches de ces micro-organismes vivants dont les plus connues appartiennent aux genres *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* et *Saccharomyces*. Les probiotiques sont naturellement présents dans les yaourts ou le lait fermenté, mais également dans le kéfir, la choucroute ou les olives. Ils peuvent être rajoutés à d'autres aliments (pain au levain, certains dérivés du soja) ou encore vendus sous forme de compléments alimentaires (levure de bière).
De leur côté, les prébiotiques sont des fibres alimentaires, principale-

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

MICROBIOTE (flore intestinale) Ensemble de micro-organismes (bactéries, levures, champignons microscopiques…) colonisant le tube digestif, où ils vivent en symbiose avec l'organisme. Chaque individu présente un microbiote unique dans sa composition.

SYSTÈME NERVEUX ENTÉRIQUE Réseau de 9 mètres qui part de l'œsophage à l'anus et relie 500 millions de neurones et autant de cellules gliales qui environnent les neurones.

BACTÉRIES Organismes microscopiques unicellulaires dépourvus de noyau. Elles peuvent favoriser le bon fonctionnement de l'organisme ou au contraire perturber celui-ci.

ment les fructanes (orge, asperges et artichauts en sont riches) et les amidons résistants (banane, légumineuses, riz ou pommes de terre). Ces sucres fermentescibles non dégradés lors de la digestion se retrouvent dans le côlon où ils font office d'« engrais » et stimulent sélectivement la croissance de populations bactériennes.

Ils ont un effet sur certaines pathologies intestinales

Certains probiotiques sont efficaces dans la prévention ou le traitement de pathologies gastro-intestinales (4). Plusieurs essais thérapeutiques ont montré que l'administration de lactobacilles, de bifidobactéries et de certains streptocoques abaisse la durée des gastro-entérites aigües de l'enfant qui guérissent en général spontanément au bout de trois jours. Dans les diarrhées induites par des antibiotiques, dont l'un des effets secondaires est d'appauvrir le microbiote, l'administration conjointe de *Lactobacillus* diminue également le risque de diarrhée. Enfin, leur rôle de protecteur des barrières épithéliales de l'intestin semble aussi avoir un intérêt dans la prise en charge de la colopathie fonctionnelle (syndrome du côlon irritable). En revanche, il n'existe pas de preuves tangibles de l'efficacité des probiotiques dans les Mici, des pathologies graves qui regroupent la maladie de Crohn et la rectocolite hémorragique.

Ils ne favorisent pas l'obésité

En 2012, une étude du Pr Didier Raoult (Marseille) sur l'utilisation de probiotiques de la classe des firmicutes comme agent de croissance pour le bétail (5) avait provoqué une controverse quant à l'implication possible d'aliments probiotiques dans l'obésité infantile. En effet, les lactobacilles et les bifidobactéries, qui appartiennent à la grande famille des firmicutes, figurent sur la liste des ingrédients des produits Actimel et Activa. Mais si des liens entre la modification du microbiote et l'obésité ont bien été établis, aucun chercheur n'a jusqu'à présent montré d'augmentation notable des lactobacilles et bifidobactéries dans la flore des obèses.

Leur effet est transitoire

Les probiotiques transitent par le tube digestif sans le coloniser. Les bactéries fermolactiques les plus tenaces n'y persistent que quelques semaines. Comme toutes les bactéries exogènes ingérées, elles entrent en compétition avec la flore commensale du tube digestif qui maintient l'équilibre bactérien nécessaire aux fonctions intestinales. L'effet des probiotiques cesse donc dès qu'on arrête d'en consommer.

Leur rôle dans la stimulation de l'immunité est à préciser

Environ 60 % de notre système immunitaire est localisé au niveau intestinal où il agit sur la physiologie des cellules locales en renforçant leur rôle de barrière vis-à-vis de certains pathogènes, mais aussi plus largement sur la physiologie de l'ensemble de l'organisme. De nombreux axes de recherche étudient donc l'impact possible du microbiote sur l'immunité, notamment dans l'allergie mais aussi l'asthme, le diabète, l'obésité, le cancer ou encore la maladie de Parkinson. Selon l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), *« ingérer des microorganismes à activité probiotique n'est pas sans effet pour le système immunitaire : chez l'homme sain et pour de nombreuses souches, la plupart des études […] montrent un effet immunomodulateur »*. Mais pour l'heure, toujours selon l'Anses, *« la relation entre un effet biologique sur l'immunité et un effet santé reste à démontrer aussi bien chez le sujet sain que dans les conditions pathologiques »* (6). ■

Marie-Noëlle Delaby

JEAN-MICHEL LECERF, Institut Pasteur, Lille

Des perspectives prometteuses

« Il n'existe pas de recommandations d'utilisation des compléments alimentaires à base de probiotiques. Des essais récents montrent que leur efficacité dépend de critères très précis, notamment concernant les souches utilisées et leur concentration. Au sein d'une même famille, par exemple *Lactobacillus*, il existe en effet une variété énorme des souches. Or les produits actuellement sur le marché ne sont pas assez spécifiques. De même, leur concentration en bactéries est souvent trop faible. Quand on sait que celle du microbiote est de l'ordre de 10^{14}, l'impact d'un produit dosé à 10^{9} peut sembler dérisoire. Mais cette spécificité devrait sans doute être mieux appréhendée d'ici à quelques années et les travaux en cours montrent des perspectives prometteuses pour les probiotiques, alors que l'étude du microbiote dévoile chaque jour davantage son influence sur notre santé. »

(1) **Le Ventre notre deuxième cerveau,** Cécile Denjean et Héloise Rambert, Éditions Arte vidéo, 2013.

(2) **L'Intestin notre deuxième cerveau,** Francisca Joly Gomez, éditions Marabout, 2014.

(3) **Définition** : FAO/WHO working group report on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food, mai 2002.

(4) **Indications for the use of probiotics in gastrointestinal diseases,** Girardin M et Seidman EG, *Digestive Disease* 2011.

(5) **The relationship between gut microbiota and weight gain in humans,** Raoult D. et al, *Future Microbiol*. 2012

(6) **Effets des probiotiques et prébiotiques sur la flore et l'immunité de l'homme adulte,** Jean-Christophe Boclé, rapport de l'Anses, février 2005.

Une technique innovante réduit les séquelles de l'AVC

La thrombectomie consiste à aller chercher directement dans le cerveau du patient le caillot sanguin responsable de l'accident vasculaire cérébral.

Nous sommes peut-être à l'aube d'une révolution dans le traitement des accidents vasculaires cérébraux (AVC). Une étude parue en décembre dans le *New England Journal of Medicine* vient en effet confirmer les très bons résultats de la thrombectomie mécanique. Apparue en 2004, cette technique n'est encore utilisée que de façon marginale par certaines unités neurovasculaires spécialisées. Elle consiste à aller chercher directement dans le cerveau du patient le caillot sanguin responsable de l'AVC. En effet, dans 80 à 85 % des cas, ce dernier résulte de l'obturation d'un vaisseau sanguin irriguant le cerveau. Privés d'oxygène, les tissus situés après ce « bouchon » se nécrosent. Et si la circulation sanguine n'est pas rapidement rétablie, les séquelles peuvent être irréversibles.

Pour l'heure, le traitement de choix est la thrombolyse : un produit désagrège le caillot sanguin. Mais cette stratégie, qui doit être mise en œuvre dans les quatre heures et demie qui suivent les premiers symptômes, apparaît souvent insuffisante pour éviter les séquelles lourdes. L'intervention par thrombectomie mécanique peut, elle, être conduite dans les six heures. L'opération consiste à faire passer un microcathéter — sorte de petit tube — dans l'artère bouchée jusqu'au caillot sanguin. Celui-ci est retiré soit par aspiration par le biais du cathéter, soit à l'aide d'un stent qui, déployé autour du caillot, capture la masse visqueuse. La circulation sanguine est ainsi rapidement rétablie.

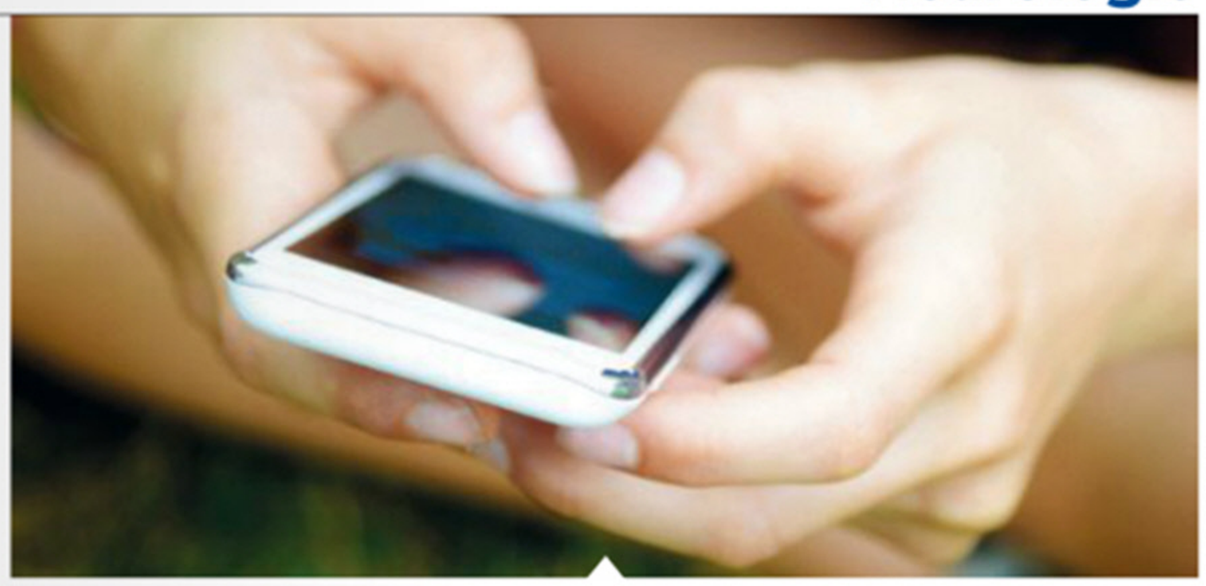
PHOTOS : VOISIN/PHNAE - 2014, PENUMBRA, INC

Permettre de retrouver une autonomie satisfaisante

L'étude menée sur 500 personnes aux Pays-Bas a montré que trois mois après un AVC sévère (qui représentent 5 à 10 % des 130 000 attaques cérébrales survenant chaque année en France), la thrombectomie a permis à 30 % des patients de retrouver une autonomie satisfaisante. Ce n'était le cas que pour 16 % des patients qui n'avaient bénéficié que d'un traitement médicamenteux. « *C'est la première fois qu'on montre aussi clairement que cette technique permet de réduire les séquelles* », s'enthousiasme le Dr Bertrand Lapergue qui l'a adoptée à l'hôpital Foch de Suresnes (Hauts-de-Seine) il y a quatre ans. « *D'autres études du même type doivent être publiées ce premier trimestre et devraient confirmer ces bons résultats* », précise le neurologue. Mais le facteur déterminant reste la rapidité d'intervention : « *70 % des cas sont pris en charge trop tard, c'est-à-dire plus de six heures après l'apparition des premiers symptomes* », déplore le Dr Lapergue. La course contre la montre aura dans le futur plus de chances d'être gagnée. ■

Hugo Jalinière

@hugojaliniere



GETTY IMAGES

L'ergonomie des nouveaux téléphones mobiles influence le développement de zones du cortex.

L'écriture des SMS modifie le cerveau

L'utilisation fréquente des pouces pour écrire des courts messages sur les smartphones élargit la zone cérébrale correspondante.

UTILISER INTENSÉMENT ses pouces pour écrire des SMS change notre cerveau aussi efficacement que la pratique d'un instrument de musique, en particulier le violon, selon une étude publiée dans la revue *Current Biology*. Les scientifiques savent depuis la fin du XIXe siècle qu'à chaque région de notre corps est dévolue une zone cérébrale spécifique du cortex moteur primaire qui en contrôle le mouvement. La surface de cette zone dépend étroitement de la fréquence et de l'utilisation de la région en question. Ainsi, les mains et les doigts occupent une place plus importante que les autres parties du corps. Une équipe de l'université de Zurich (Suisse), en collaboration avec des chercheurs de l'université de Fribourg, a voulu savoir si cette « carte motrice » est modifiée par l'usage intensif de l'écriture de textos et de courriels avec nos smartphones.

Le cerveau de 26 « petits poucets » et « petites poucettes », comme les désigne affectueusement le philosophe Michel Serres, a été analysé par électroencéphalographie et comparé avec celui de 11 utilisateurs de téléphones « ancienne génération » avec des vraies touches. 62 électrodes ont été placées sur la tête des sujets à qui il était demandé de jouer des pouces pour écrire des textos. Résultat : plus un smartphone aura été utilisé intensément dans les dix jours précédant l'EEG, plus la représentation corticale du pouce sera importante et différera de celle d'un utilisateur de téléphone classique.

La comparaison avec les violonistes a toutefois une limite, car il n'y a aucune corrélation entre l'intensité de l'activité cérébrale correspondant au pouce et le temps depuis lequel on pratique l'écriture de SMS. Sans doute parce qu'écrire correctement un court message avec ses pouces demande moins d'apprentissage que de jouer de l'archet comme un virtuose... ■ **Hervé Ratel**

Livres
Santé

La Tête en désordre. L'exposition prénatale à l'alcool

Catherine Dartiguenave, Stéphanie Toutain, L'Harmatan, 240 p., 25 €

Comment parler du syndrome d'alcoolisation fœtale, première cause de retard mental non génétique, qui concerne 8000 naissances chaque année en France ? En donnant la parole à quatre familles. En témoignant ici avec courage de leur parcours toujours douloureux, ces parents souhaitent avec les auteurs, un médecin et une universitaire, toucher et mobiliser le grand public. Si le principe de l'abstinence totale d'alcool pendant la grossesse est connu, il n'est pas appliqué. Selon une enquête menée en 2010, 23 % des femmes en ont consommé au moins une fois pendant leur grossesse. ■ **Sylvie Riou-Milliot**

Un si brillant cerveau

Steven Laureys, Odile Jacob, 304 p., 23,90 €

Enfin ! Le professeur Steven Laureys, neurologue au CHU de Liège et spécialiste mondial du coma, prend la plume pour nous livrer un ouvrage sur son domaine de prédilection, les états limites de conscience. Peuplé d'anecdotes personnelles, de récits de patients, le livre explore les thèmes encore si mystérieux que sont le coma, l'état végétatif, le *locked-in syndrome* ou l'expérience de mort imminente, en revisitant les grands cas qui ont défrayé la chronique, comme Terry Wallys « réveillé » au bout de 19 ans d'état de conscience minimale. Ce faisant, l'auteur redéfinit aussi la mort. Un ouvrage riche et sensible. ■ **Elena Sender**

Il y a toujours un après

Christophe Billoret, Les Arènes, 220 p., 17 €

Depuis moins d'une décennie, le visage de l'alcoolique a changé. Il n'est plus cet être faible, sans volonté, qui se laisse docilement mener par le bout du goulot. Bien au contraire, depuis l'émergence du baclofène comme traitement de la dépendance à l'alcool, il est un malade comme les autres qui souffre d'une maladie physiologique qui peut être soignée. Voire guérie, comme l'assure l'auteur de cet ouvrage. ■ **H. R.**

CLOUD COMPUTING (« informatique dans les nuages »). La formule désigne des services, des données, des logiciels stockés sur des serveurs dans des data centers et auxquels un utilisateur accède à distance depuis un ordinateur.

FREE COOLING (« refroidissement libre »). Utilisation de la différence de température entre l'air extérieur, ou de l'eau, et l'air intérieur d'un local en lieu et place d'une climatisation.

COLOCATION/HÉBERGEMENT Un spécialiste de la colocation fournit à divers clients dans un même bâtiment des espaces où stocker des serveurs informatiques ; un hébergeur stocke des contenus de divers clients mais sur ses propres serveurs.

Coup de chaud sur les data centers

Les données circulant sur Internet sont hébergées dans des centaines de milliers d'entrepôts informatiques à travers le monde. Pour refroidir ces monstres de calculs, toutes les innovations sont bonnes à tester...

Par Arnaud Devillard, envoyé spécial en Norvège

CE SONT DEUX TROUS DANS LA MONTAGNE, à peine visibles depuis les eaux du fjord qui lèchent le pied des falaises de granit. Il s'agit des entrées d'une ancienne base de l'Otan, un gigantesque entrepôt de munitions creusé sous 200 mètres de roche au cœur de l'île de Rennesøy, à un peu plus de vingt kilomètres du port pétrolier de Stavanger, en Norvège. Ces 22 000 mètres carrés répartis en cinq galeries ont perdu leur usage militaire en 1994. Pourtant, l'impressionnante porte en béton fonctionne toujours, dotée d'un sas électronique avec identification par empreinte digitale et détecteur de poids. Car ce bunker, capable de résister à un événement sismique comme à une attaque nucléaire, est toujours en service. Sauf qu'à la place des torpilles, il abrite des serveurs informatiques stockant les données en provenance du monde entier : finance (la banque norvégienne DNB) ; opérateurs de télécommunications ; industriels (la CGG, dont le siège est à Paris) ; fournisseurs de services sur Internet... C'est le groupe norvégien Smedvig qui a racheté le site pour y ouvrir en mai 2013 le centre de traitement de données (« *data center* ») Green Mountain, occupant pour l'heure la moitié de l'espace disponible. Dans une salle spéciale, la fibre optique de six opérateurs de télécommunications connecte le centre au réseau mondial.

Voilà la réalité matérielle d'Internet et des réseaux : de véritables entrepôts d'ordinateurs et de serveurs en rangs serrés dans des salles blanches. Regarder une série sur sa télévision par l'intermédiaire de Netflix, c'est solliciter les data centers d'Amazon Web Services, dans le nord de la Virginie, ou de Telehouse, à Paris. Les courriels confidentiels des ambassades américaines, révélés à grand fracas par Wikileaks en 2010, se trouvaient chez Amazon aux États-Unis et en Irlande, puis chez les hébergeurs Bahnhof, à Stockholm, Octopuce, à Paris, et OVH, à Roubaix (Nord). Tout ce qui est posté sur Facebook est dirigé vers quatre centres de stockage géants que la firme s'est fait bâtir, en plus des espaces loués chez des prestataires. Les sites Web du conseil général de l'Isère, de l'école de management de Grenoble ou de Thalys ? Ils se retrouvent quelque part au cœur des baies informatiques du Green data center d'Eolas, du groupe Business & Decision, à Grenoble.

509 147 data centers
dans le monde, de tous types et de toutes tailles, en 2011.
(SOURCE : EMERSON NETWORK POWER.)

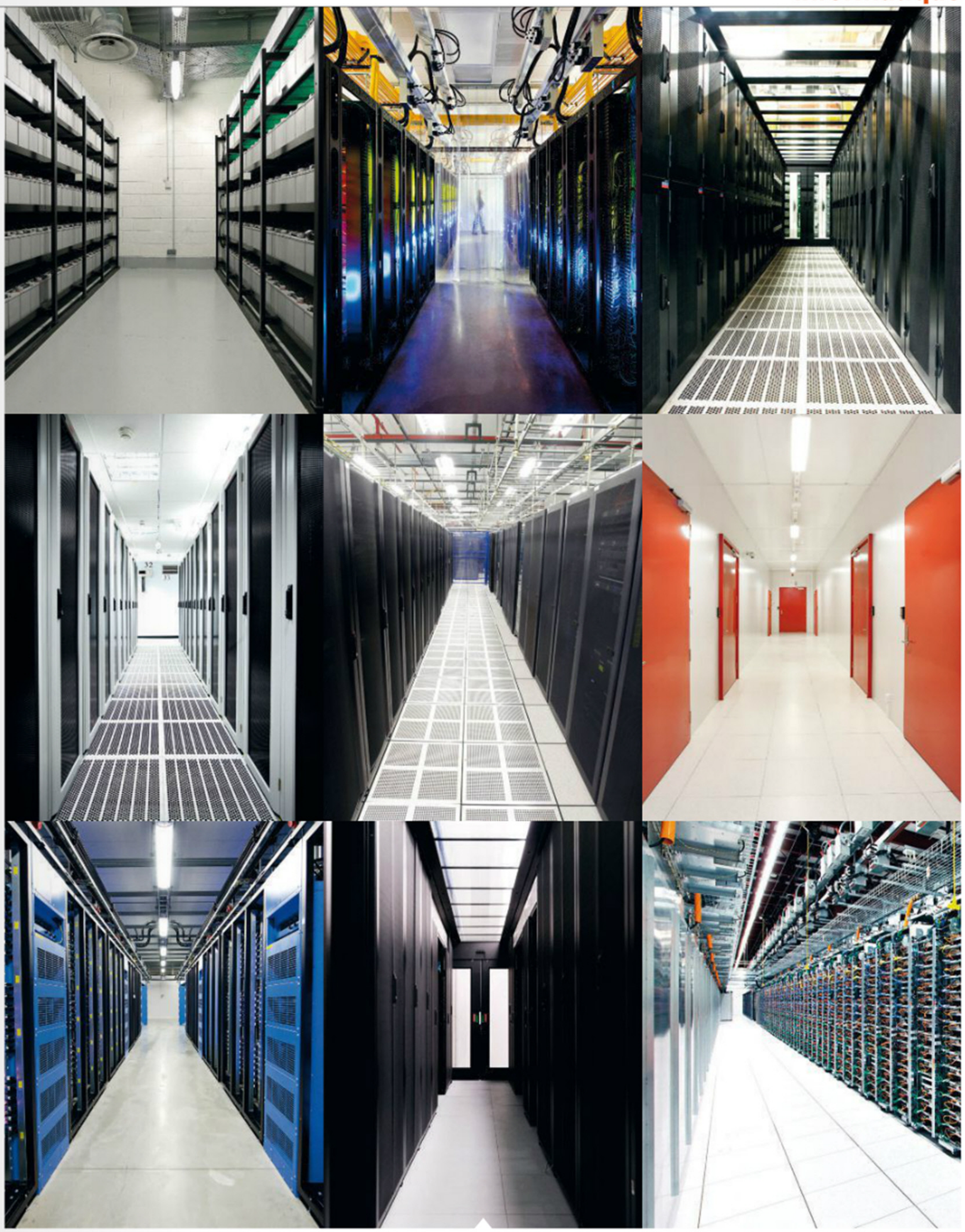
12 milliards
d'appareils connectés en 2014, 33 milliards en 2020, soit 4 pour chaque personne sur Terre.
(SOURCE : STRATEGIC ANALYTICS.)

33 % de la consommation électrique
d'un data center consacrés au refroidissement selon Cisco en 2011.

684 TWh
engloutis par le cloud en 2011, soit plus que la consommation d'électricité de l'Allemagne, du Canada ou de la France.

Des centres américains très gourmands en... charbon

Et ce n'est qu'un début. Dans un rapport publié en avril 2014, Greenpeace estimait que la population connectée à Internet va passer de 2,3 milliards en 2012 à 3,6 milliards en 2017. Et la consommation d'électricité fera un bond de 60 % d'ici à 2020 en raison de la frénésie d'usages numériques. À lui seul, le *cloud computing (voir le lexique)* aurait, en 2011, englouti 684 térawattheures (milliards de kilowattheures). C'est plus que la consommation totale d'électricité de l'Allemagne (522 TWh), du Canada (519 TWh) ou de la France (420 TWh). « *Le* cloud *tel qu'il existe ne donne aucune mesure de consommation électrique qui permette de faire prendre conscience*



PHOTOS : AFP - GOOGLE - TELECITY GROUP - ORANGE - SIPA - SCHNEIDER ELECTRIC - AFP

Les serveurs sont empilés dans des baies informatiques, qui forment des rangées dans les data centers. Cette multitude d'équipements électroniques nécessite de maintenir une température ambiante fraîche afin d'éviter toute dégradation du matériel et prévenir la panne.

aux gens de ce qu'impliquent leurs usages numériques », souligne Bruno Touzain, qui supervise le data center d'Eolas. Sans parler de l'origine de cette électricité : les centrales à charbon américaines (très polluantes) sont largement mises à contribution en Virginie, Caroline du Nord ou Géorgie pour des data centers installés à proximité.

« *Ce secteur est assez peu innovant*, convient Frédérique Dofing, directrice générale de l'opérateur Céleste. *Le parc est certes ancien, mais la continuité du service étant essentielle, il est difficile de tout détruire et refaire.* » Les vraies évolutions sont assez récentes, et surtout pour des raisons comptables : « *l'électricité représente 40 à 50 % de la facture de fonctionnement d'un centre de données* », précise Damien Giroud, directeur France de la division data center de Schneider Electric. Et entre 25 et 40 % de la consommation servent à alimenter les systèmes de refroidissement. Car, comme tout ordinateur, un serveur informatique chauffe. Une température trop élevée, et c'est la panne. Dans ce contexte, le data center de Smedvig ne profite pas seulement d'un site prêt à l'emploi. Il utilise les eaux du fjord pour refroidir le serveurs selon un procédé dit free cooling *(lexique)* mis au po par Schneider Electric. Par le je des vases communicants, les eaux à 8 °C qui se trouvent à 100 mètres de profondeur remontent dans un réservoir sous une station de refroidissement. Un autre réseau d'eau circule dans les salles informatiques pour transporter la chaleur dégagée par les serveurs. Ces deux circuits distincts échangent leur chaleur à travers une surface métallique (en l'occurrence en titane, afin de résister à la corrosion par le sel) dans la station de refroidissement. Cette surface permet de transférer l'énergie thermique de l'eau venue des salles de serveurs dans l'eau froide provenant du fjord. L'eau de mer retourne d'où elle vient à 18 °C, à un débit d'un mètre cube par seconde, sans impact sur l'écosystème selon Schneider Electric, et celle du circuit de refroidissement repart en direction des serveurs pour se charger à nouveau en chaleur. Puis le cycle recommence. Green Mountain se passe ainsi de climatisation.

CÉLESTE

« Le secteur est assez peu innovant et le parc est ancien »

Frédérique Dofing, directrice générale de Céleste, fournisseur d'accès Internet pour les entreprises

ÉRIQUE
…les data centers de Google, de Green Mountain et d'Eolas sur **http://sciav.fr/816datacenter**

La nappe phréatique est mise à contribution

À Grenoble, Eolas fait du « free cooling » avec la nappe phréatique qui s'étend à cinq mètres sous le bâtiment. Puisée à une température entre 12 et 14 °C, elle repart au plus à 19 °C, sans aucun additif, alors que le différentiel maximum autorisé par les pouvoirs publics est de 10 °C. Cette mécanique fonctionne en été ; en hiver, la nappe est laissée « au repos ». Le data center utilise alors un réseau d'eau secondaire en circuit fermé. L'eau refroidie par l'air extérieur récupère la chaleur des ordinateurs puis se refroidit à nouveau à l'air. Ce système se déclenche dès qu'il fait moins de 10 °C à l'extérieur.

Les dirigeants de Céleste se passent, eux, délibérément de réseaux d'eau. « *Plus on met de composants, plus on multiplie les failles* », justifie Frédérique Dofing. D'où une astuce architecturale : un data center vertical de cinq étages simplement séparés par des caille-

TEST

Le refroidissement à l'eau chaude

Il n'y a pas de normes sur la température d'un data center. Mais de simples recommandations émanant de la société américaine d'ingénieurs ASHRAE : entre 18 et 27 °C. Tout en reconnaissant que l'on peut atteindre 32 voire 35 °C. Aux États-Unis, à Phoenix, dans le désert de l'Arizona, la société d'enchères en ligne eBay stocke 5000 serveurs dans des conteneurs sur le toit de son data center Mercury. Ils sont exposés à des températures extérieures dépassant parfois les 40 °C. L'eau qui sert à les refroidir est aussi en contact avec l'air extérieur. Elle est donc chaude, mais toujours moins que les ordinateurs ! En fait, maintenir des salles à 16 ou 18 °C, comme cela se pratique généralement, sert surtout à rassurer des clients pour qui « froid » est synonyme de bon fonctionnement. « *Or, un degré de plus, c'est 6 % d'économie sur la facture d'électricité* », estime Bruno Touzain d'Eolas.

EBAY/MERCURY PROJECT

Les serveurs d'E Bay sont installés sur le toit du data center en Arizona.

SCHNEIDER ELECTRIC

CELESTE

Les serveurs de Céleste sont rafraîchis uniquement par l'air qui circule librement entre chacun des étages de l'immeuble.

EOLAS

Eolas, à Grenoble, puise l'eau à 14 °C environ dans la nappe phréatique sous le bâtiment qu'elle réinjecte ensuite à 19 °C

Sous 200 mètres de roche dans l'île de Rennesøy (Norvège), le data center de Green Mountain occupe un ancien entrepôt de munitions de l'Otan. Les serveurs sont refroidis grâce à l'eau du fjord.

botis métalliques. L'air rafraîchit les serveurs, en passant librement d'un étage à l'autre, puis est en partie recyclé. Début décembre, seulement 11 % d'air neuf étaient injectés à chaque cycle pour être mélangé à l'air chaud venu des salles informatiques. Car à 3 °C, il aurait été… trop froid, risquant de givrer les installations. Inédit, ce concept a été cobreveté par l'opérateur et le cabinet d'architectes Enia. Ce dernier est, entre autres, à l'origine du data center Normandie d'Orange à Val-de-Reuil (Eure), dédié au cloud computing. Inaugurée en octobre 2013, la structure, protégée du soleil par un mur végétalisé, aspire l'air extérieur par sa façade ouest (côté Manche) et l'expulse à l'est.

Encore plus fort ? C'est non loin du… cercle arctique que Google et Facebook se sont installés. Le premier dans une ancienne usine de papier finlandaise à Hamina, où il refroidit ses machines à l'eau du golfe de Finlande, le second à Lulea, en Suède, où il exploite l'air extérieur pour un site de 27 000 m². En 2009, Google déposait même un brevet pour un data-center (encore inexistant) flottant sur l'océan, alimenté en énergie par la houle et rafraîchi par l'eau. Mais ce qui vaut pour Google ou Facebook et leurs moyens considérables peut difficilement faire école. « *Si votre data center est économique parce qu'il est basé en Finlande, est-ce que le réseau qui s'étend jusque là-bas sera, lui, économique ?* interroge Nicolas Aubé, président de Céleste. *Il n'existe aucune recherche sur cet équilibre. Quand on le saura, on construira autrement les infrastructures informatiques.* » Même de petits data centers peuvent économiser de l'énergie et de l'argent. « *Beaucoup de travaux sont focalisés sur l'infrastructure matérielle mais il ne faut pas oublier que l'on peut gagner en efficacité énergétique en optimisant l'utilisation des logiciels et en jouant sur l'extinction ou le ralentissement des serveurs* », souligne Laurent Lefèvre, chercheur à l'Inria.

La vraie difficulté se situe plutôt dans la redistribution de la chaleur. « *On parle de data centers chauffant des piscines parce que quelques-uns l'ont fait, mais en réalité, c'est très compliqué, les réseaux d'énergie qui existent n'ont pas été pensés pour ça* », tempère Damien Giroud. Sans compter les réticences. Situé en zone industrielle, le data center d'Eolas affirme pouvoir redistribuer sa chaleur aux entreprises voisines. Encore faut-il qu'elles soient demandeuses. À Aubervilliers (Seine-Saint-Denis), le data center Condorcet de Telecity pensait alimenter le quartier. Faute d'avoir pu convaincre, il chauffe un arboretum destiné à des recherches sur le réchauffement climatique… Dans ce contexte, Céleste se contente de chauffer ses propres bureaux. « *Avant de redistribuer, essayons déjà de ne pas gaspiller* », estime Nicolas Aubé. ■

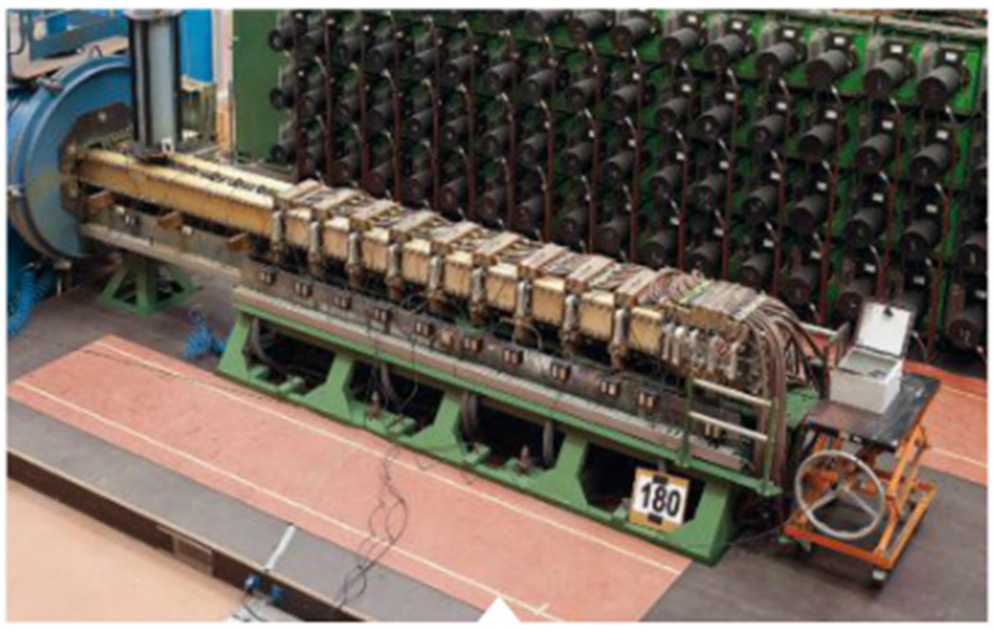
POUR EN SAVOIR PLUS

- Carte interactive des datacenters de colocation dans le monde : **www.datacentermap.com**
- Rapport « Clicking Green » de Greenpeace (en PDF) : **http://sciav.fr/816datavert**
- Rapport sur les chiffres de Facebook (septembre 2013) : **http://sciav.fr/816face**

Un canon électrique pour gagner en puissance

L'artillerie se passera bientôt de poudre. Le « railgun », alimenté par un puissant champ magnétique, projette un obus à une vitesse et une distance jamais atteintes.

DANS LA SALLE DE CONTRÔLE, les casques antibruit sont déjà plaqués sur les oreilles et tous les yeux rivés sur l'écran de contrôle vidéo. L'équipe de l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL)*, en Alsace, est parée pour le tir. Une alarme stridente retentit, suivie d'une voix dans le haut-parleur, à peine audible à travers les casques : « *Attention, Pegasus prêt à tirer.* » Dans les secondes qui suivent, une violente détonation fait vibrer le bâtiment. Sur l'écran vidéo, un bref éclat d'étincelles suivi d'images d'un impressionnant nuage de poussière. Chacun ôte son casque. Le tir du canon Pegasus de ce 10 décembre est un succès. « *Les chiffres semblent même indiquer un record*, confirme Stephan Hundertmark, chercheur allemand, spécialiste en accélération électromagnétique à l'ISL. *Le projectile a atteint la vitesse de 2,98 kilomètres par seconde, soit plus de Mach 8, huit fois la vitesse du son !* » L'objet, un petit cube d'aluminium et de tungstène, est venu se pulvériser contre un empilement d'épaisses plaques d'acier, au fond d'un conteneur blindé long d'une dizaine de mètres. La première de ces plaques a d'ailleurs été littéralement transpercée.



INSTITUT SAINT-LOUIS

Pegasus, développé par l'Institut de recherches de Saint-Louis, est alimenté en courant par un « mur » de condensateurs

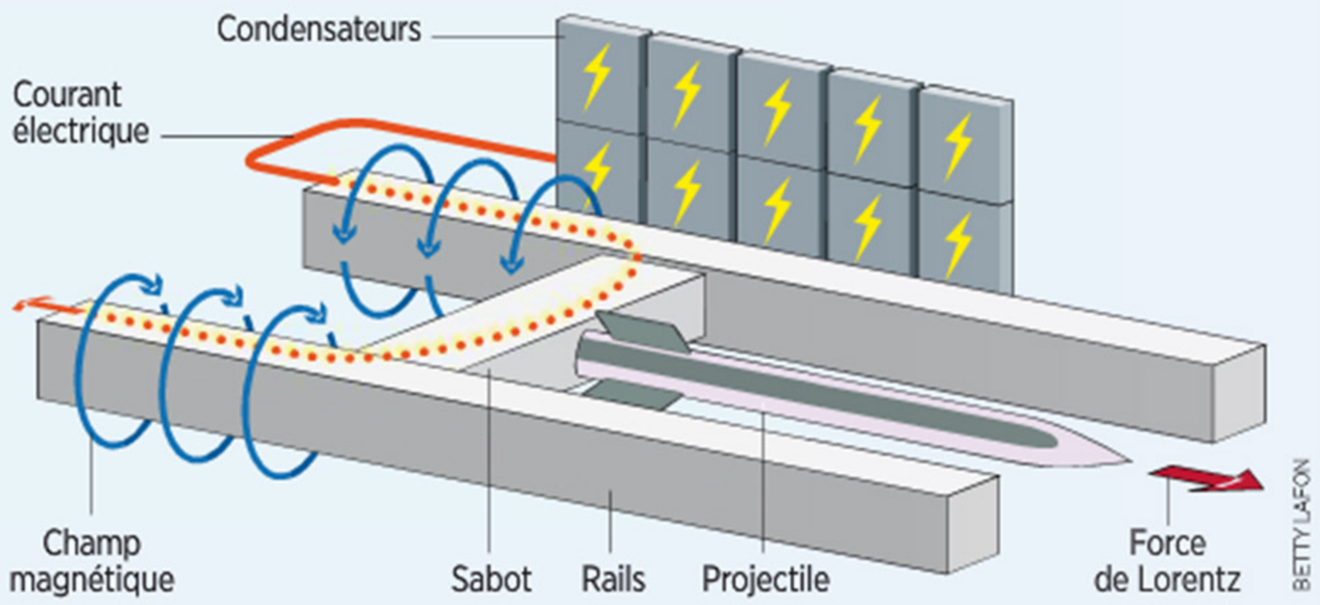
Pegasus est un *railgun*, un canon électrique, arme fantasmée de la science-fiction et du jeu vidéo *(lire l'encadré p. 76)*, en passe de devenir une réalité. Ses performances expliquent cette fascination : une vitesse de projectile hypersonique. Et une portée de 200 km voire 400 km contre 42 km pour celle d'un canon classique tel le Caesar, pièce majeure de l'artillerie française.

Surtout, c'est sa conception, en rupture avec l'armement conventionnel, qui frappe. Finie l'explosion d'une poudre pour propulser un projectile, place à la puissance de l'électricité. Même si le principe apparaît simple, l'ISL travaille sur le sujet depuis près de trente ans : le long du canon, deux rails conducteurs sont parcourus par un fort courant, ce qui engendre entre eux un champ magnétique intense *(voir l'infographie)*. Le projectile de métal est lui-même un excellent conducteur. Quand il est placé dans le canon, il crée un contact entre les deux rails, ce qui fait naître une boucle de courant. La combinaison de ce courant avec le champ magnétique se traduit par l'apparition d'une force,

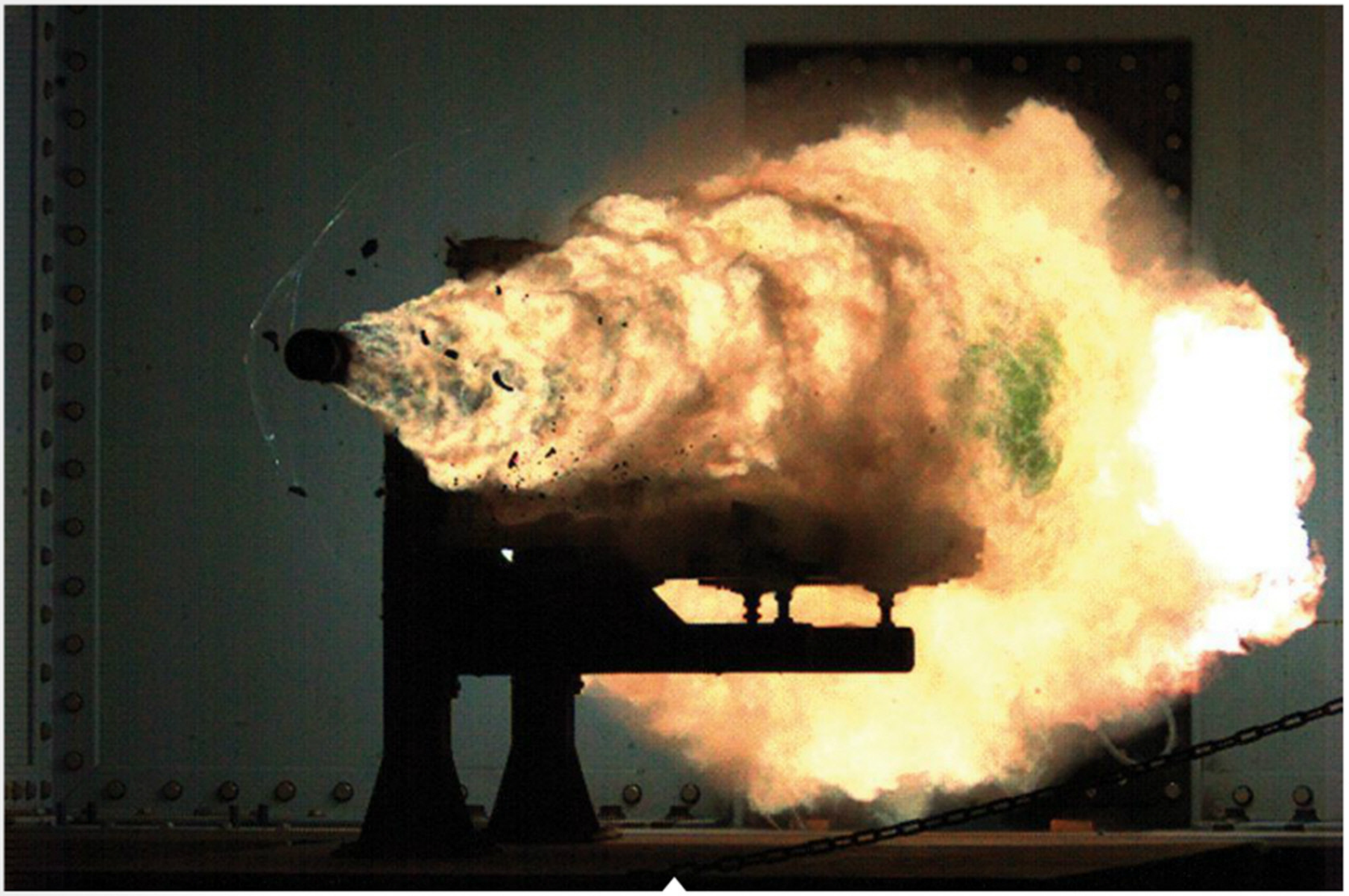
TECHNOLOGIE

La force de Lorentz à l'œuvre

Le fort courant qui circule dans les rails produit un champ magnétique. La combinaison du courant et de ce champ magnétique crée la force de Lorentz qui pousse le projectile jusqu'à la sortie du canon. Dans sa version opérationnelle, le projectile a une forme aérodynamique étudiée. Il est poussé par le sabot qui fait le contact entre les rails. Lors des tirs d'essais, le projectile a une forme presque cubique qui lui permet d'assurer lui-même le contact avec les rails.



BETTY LAFON



JOHN F. WILLIAMS/US NAVY

L'office de recherche navale américain a testé, dès 2008, un canon électrique propulsant un projectile de 3,2 kg à 2520 mètres par seconde.

appelée force de Lorentz, qui pousse le projectile jusqu'à l'extrémité du tube.

Si la puissance de la poudre plafonne aujourd'hui, autorisant des portées maximales d'une centaine de kilomètres, celle du canon électrique n'a, en théorie, pas de limite. Il suffit d'augmenter l'intensité du courant pour augmenter la force, d'où un avantage opérationnel majeur. Embarqué sur une frégate, il permettrait de demeurer hors de portée de l'artillerie côtière d'un pays ennemi. En défense antiaérienne, il pourrait détruire un avion, un drone ou encore un missile bien avant que ceux-ci n'atteignent leur cible.

Reste que cette technologie comporte d'importants verrous. En premier, la puissance. Une portée de 400 km signifie que le canon doit être alimenté en 10 millisecondes par l'équivalent de la puissance électrique de... 10 centrales nucléaires. Impossible ? C'est ce que tout le monde pensait jusqu'à la fin des années 2000, quand les Américains ont démontré le contraire. « *Deux entreprises d'armement, BAE Systems et General Atomics, en contrat avec la marine américaine ont dévoilé les premiers tirs de canons électriques avec une puissance suffisante pour envoyer le projectile à 200 km. Ils ont donc atteint des ordres de grandeurs qui étaient jusque-là souvent considérés comme hors de portée* », explique Xavier Grison, ingénieur en chef de l'armement à la direction générale de l'armement (DGA) dont dépend l'ISL.

Tous les problèmes n'ont pas été résolus pour autant, notamment celui de l'encombrement du matériel. Les prototypes américains sont alimentés par des condensateurs emmagasinant environ 100 mégajoules, une énergie considérable que ces « batteries » peuvent décharger quasi instantanément. Pegasus, dix fois moins puissant que les canons américains, est alimenté par 200 condensateurs alignés sur un mur d'une dizaine de mètres de long. Incompatible avec la place disponible à bord des navires actuels. « *Mais nous avons remarqué sur les vidéos de BAE Systems que leurs condensateurs sont moins volumineux. Les Américains ont probablement trouvé une solution technologique pour concentrer l'énergie*, analyse Pierre Wey, directeur du programme système d'artillerie électromagnétique à ▸

200 à 400 km
La portée du canon Pegasus, au lieu d'une centaine de kilomètres au maximum pour un canon « classique ».

70 km
L'altitude maximale du projectile pour une portée de 200 km.

2,98 km/s
La vitesse atteint par le projectile lancé par Pegasus, soit 8 fois la vitesse du son.

PLAYSTATION

VIDÉO

Une arme déjà présente dans les jeux

Le monde du jeu vidéo, très friand de systèmes de destruction aussi puissants qu'exotiques, fait naturellement la part belle au *railgun*. Wikipedia a recensé des dizaines de titres (*Mass effect*, *Ace Combat*, *Metal Gear Solid*, *Deus Ex*, *Star Wars*...) proposant une version améliorée voire exagérée du canon électrique, capable de tout transpercer, du char à l'astéroïde. Bien souvent, les concepteurs de jeux proposant cette arme dans leur arsenal font sauter allègrement les verrous technologiques bien réels qui freinent le développement du *railgun*.

l'ISL. *C'est un sujet sur lequel nous travaillons beaucoup.* »
L'ISL examine en particulier une solution très futuriste : des bobines constituées de matériaux supraconducteurs, par exemple de l'oxyde d'yttrium, de baryum et de cuivre pour stocker le courant. « *Ces bobines ne perdent pas leur charge tant qu'elles sont maintenues à des températures cryogéniques (inférieures à -200 °C). Elles auraient surtout l'avantage de stocker, à volume égal, 20 à 30 fois plus d'énergie que les condensateurs. Mais cette technologie est encore très coûteuse et elle n'a pas fait ses preuves sur le plan expérimental* », admet Xavier Grison.

Réussir à limiter la formation de la boule de feu

Plus surprenant, les scientifiques butent sur une difficulté qui pourrait sembler anecdotique : maintenir le contact entre les rails et le projectile. Car ce dernier se déplaçant à Mach 8 dans le canon, tout se complique. La perte de contact laisse la place à une petite couche d'air qui s'ionise, vu l'intensité du courant dans les rails. Parce que des électrons sont arrachés aux atomes qui composent les molécules d'air, se crée un plasma extrêmement chaud. Expulsé par la bouche du canon, il forme une impressionnante boule de feu. Très corrosif, il érode les rails, augmentant l'espace libre, ce qui aggrave le phénomène pour le t[ir] suivant, qui verra se former [un] plasma encore plus importa[nt]. Pis, ce plasma accapare une pa[r]tie de l'énergie électrique injectée dans le canon. Tout l'enjeu est donc de limiter sa formation en maîtrisant au mieux le contact entre les rails et le projectile. L'ISL estime avoir une petite avance sur les Américains...

[VIDÉO] ÉRIQUE
Retrouvez en vidéo le fonctionnement des canons électriques de Pegasus, celui de BAE Systems et celui développé par General Atomics sur **http://sciav.fr/816canon**

L'avenir du *railgun* passe aussi par une amélioration sensible de sa précision, insistent les scientifiques de l'ISL. De l'ordre du kilomètre aujourd'hui, ils voudraient qu'elle passe à l'échelle du mètre. Ce pourrait être rendu possible grâce à un système électronique de guidage embarqué capable de résister aux forts champs magnétiques du canon.
Pour l'instant, c'est toujours la marine américaine qui a une longueur d'avance. Premiers tests prévus dès 2016 avec un canon fixe monté sur un navire d'essai. Puis avec un canon dirigé en 2018, et entrée en service dans la foulée. La France, avec l'Allemagne, pourrait fabriquer un démonstrateur au niveau de celui des États-Unis d'ici à dix ans, si le programme était lancé aujourd'hui. Encore faudrait-il prévoir la plate-forme, c'est-à-dire le navire, susceptible de le recevoir. Deux options : reconditionner des frégates existantes pour leur permettre d'accueillir le canon et son système de charge, ou l'intégrer sur une nouvelle plate-forme. « *Ce genre de programme d'armement, réputé long, conduirait dans le meilleur des cas à une mise en service à l'horizon 2030-2035* », estime Pierre Wey. Le canon électrique n'est plus une arme de science-fiction, mais reste tout de même une arme du futur.

Olivier Hertel
@OlivierHertel

CANON LASER

La précision du faisceau lumineux

JOHN F. WILLIAMS/US NAVY

La marine américaine teste depuis plusieurs années sur ses navires d'essais, un canon laser, complément du « railgun ».

La marine américaine a révélé en décembre avoir testé, avec succès, un canon laser, autre arme futuriste. Dans sa version opérationnelle, l'engin pourra détruire avions, drones, missiles mais aussi bateaux, en les faisant plus ou moins chauffer. Grâce à sa précision et à sa fréquence de tir importante, le laser sera très efficace pour contrer rapidement une attaque d'essaims de bateaux ou de drones qui menacerait directement un navire. Une arme très complémentaire du canon électrique.

* Établissement de recherche sous tutelle franco-allemande de la Direction générale de l'armement (DGA) et de la Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINbw).

HIGH-TECH
Construction

THYSSENKRUPP

Le Multi, qui équipera une tour de 244 m en construction à Rottweil, se déplace le long d'un rail en boucle grâce à la sustentation électromagnétique.

L'ascenseur découvre l'horizontale

Des cabines capables de se déplacer en boucle vont être testées en Allemagne.

FINI DE SEULEMENT MONTER ou descendre : désormais l'ascenseur ira aussi à gauche et à droite ! Ce sera le cas dans une tour de 244 mètres, en cours de construction à Rottweil (Allemagne). Le bâtiment servira à tester le Multi, un prototype d'ascenseur imaginé par ThyssenKrupp. Il s'agit de cabines se déplaçant par sustentation électromagnétique, c'est-à-dire le long d'un rail par le biais d'un champ magnétique créé par électroaimant. Une technologie déjà exploitée par le train Transrapid de Shanghai (Chine) depuis 2004. L'intérêt pour un ascenseur ? S'affranchir des câbles et déplacer les cabines à la fois verticalement et horizontalement, dans des cages décrivant des boucles à travers tout un bâtiment. Il devient aussi possible de placer plusieurs cabines dans un même conduit. Quand l'une passe d'une cage verticale à une horizontale, celle qui suit peut poursuivre sa course en hauteur. La tour de Rottweil comptera trois Multi sur un total de onze ascenseurs.

Quelle que soit la direction des cabines, la technologie est la même. « *Maîtriser le déplacement vertical revient à maîtriser le déplacement horizontal*, explique un porte-parole de ThyssenKrupp. *Nous avons juste besoin d'un échangeur, situé derrière la cabine, qui pivote à 90 ° pour opérer le changement de direction.* »

Relier des tours jumelles

Le gratte-ciel en construction restera de facture verticale classique, mais le concept du Multi autorise à repenser l'architecture des immeubles. Puisque les appareils peuvent circuler latéralement, il devient possible d'exploiter des plans jouant autant sur la largeur que sur la hauteur ou de connecter plusieurs corps de bâtiments (comme des tours jumelles) en recourant à un ascenseur horizontal. ■ **Arnaud Devillard**

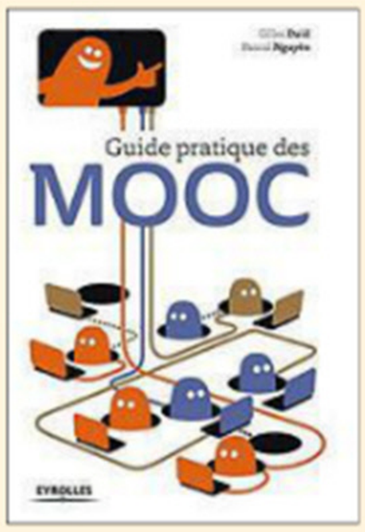
Livres
High-tech

Confucius et les automates

Charles-Edouard Bouée avec François Roche,
Grasset, 224 p., 18 €

Quel est l'avenir de l'homme ? Il est temps de se poser la question tant l'intelligence humaine entre aujourd'hui en concurrence avec l'intelligence artificielle. Au rythme du progrès scientifique, la deuxième devrait même très vite supplanter la première. C'est du moins ce que prévoient les théories transhumanistes les plus radicales. Les machines en profiteront-elles pour prendre le pouvoir ? Et quelle place laisseront-elles à un homme oisif, dépossédé de son travail ? Des questions auxquelles tente de répondre cet essai. ■ **Olivier Hertel**

Guide pratique des MOOC



Gilles Daïd et Pascal Nguyên,
Eyrolles, 184 p., 18 €

Grâce au numérique et au développement des MOOC (cours accessibles en ligne, souvent gratuitement), il est désormais possible d'approfondir ses connaissances, de parfaire sa formation, voire de reprendre ses études chez soi, derrière son ordinateur. Problème : avec plusieurs milliers d'offres de cours, il devient difficile de se repérer, de trouver celui qui nous correspond le mieux. Ce guide pratique permettra de s'y retrouver. ■ **O. H.**

Consoles et jeux vidéo

Cédric Ray et Laure Salès,
Belin Jeunesse, 64 p., 15,50 €

Comment intéresser les enfants à l'acoustique, l'électronique, la chimie ou encore à la mécanique ? En leur montrant que tous ces domaines combinés permettent de faire fonctionner un objet qu'ils affectionnent : leur console de jeux. C'est ce que propose ce petit livre qui, à l'aide de nombreuses infographies et illustrations, explique des principes tels que l'audition, la vue, la détection de mouvements ou la 3D. Les enfants découvriront aussi l'histoire des consoles de jeux, ainsi que les métiers et les secrets de cette industrie. ■ **Damien Hypolite**

SOLGAR

Since 1947

Solgardez votre sommeil !

Le flacon d'or Solgar
contient de la mélatonine
qui contribue à réduire
le temps d'endormissement.

En pharmacies et magasins de diététique.

Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour. www.mangerbouger.fr

www.solgar.fr

ONOKY/PHOTO NONSTOP

Bien vieillir

Les innovations au service des seniors

Mieux vivre, plus longtemps p. 82

Et la maison devient intelligente p. 86

La révolution de la télé-médecine P. 92

La bataille de la mobilité et ses enjeux P. 98

Doper son épargne pour se financer P. 102

Coordination : Caroline Brun, Agence Forum News **Rédaction :** Claire Aubé, Chloé Belleret, Stéphanie Condis **Édition :** Rémi Gancel **Iconographie :** Nathalie Bencal

ÉDITO

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

S'adapter

Il existe au Japon cette expression magnifique, où des personnes ayant atteint une grande maturité dans leur compétence, culturelle et souvent technique, se voient qualifiées de « trésor national vivant ».
À sa manière, chacun d'entre nous, en prenant de l'âge, se mue en une forme de trésor. Mais comment s'assurer de sa préservation ? De son bien-être ? Or, ceux que nous sommes tous amenés à devenir, et que notre langage ne sait parfois plus très bien désigner — aînés, seniors (ce qui sonne socialement correct), mais aussi personnes âgées, vieux, etc. — deviennent une donnée majeure de notre société. Ce, au moment où de nouvelles technologies, en particulier numériques, connaissent un essor sans précédent : quel bon usage en faire ? D'où la décision de *Sciences et Avenir* d'y consacrer ce dossier spécial. Tout en s'associant au colloque « Vivre ensemble, jeunes et vieux, aujourd'hui et demain », dont l'intitulé donne la mesure du défi. Nous nous interrogeons donc sur l'utilisation des ordinateurs, des robots, des réseaux sociaux ; sur l'adaptation de l'habitat à des besoins qui changent ; mais aussi sur l'impact de la télémédecine, voire de la « e-santé »... Car aider à bien vieillir, c'est aussi préserver l'égalité entre les citoyens.

Mieux vivre, plus longtemps

Davantage de seniors en bien meilleure santé : si la nouvelle donne démographique paraît une bonne nouvelle, c'est parce que le monde économique, technologique et médical a déjà commencé à miser sur le bien-être des « aînés ». Au profit de tous.

Le constat est sans appel : la société française vieillit. Et même rapidement. Une évolution aux conséquences économiques et sociales gigantesques, qui va modifier en profondeur les relations entre générations. Dès 2015, les seniors — définis dans cette étude comme les plus de 50 ans — vont assurer une majorité des dépenses des ménages, selon le Credoc (Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie) : 64 % dans la santé, 60 % dans l'alimentaire, 58 % dans les équipements, 57 % dans les loisirs, etc. Et d'ici à quelques années, ces aînés vont encore plus clairement déterminer la consommation. Connaître leurs besoins et proposer des biens et services adaptés est donc un enjeu majeur, pour leur bien comme pour celui des plus jeunes. Les pouvoirs publics l'ont compris en aidant à la création de la filière Silver Économie (traduisez : *« l'économie des cheveux blancs »*) l'année dernière (*lire ci-dessous*). Transports, services, loisirs, agroalimentaire, santé, équipement, il n'est pas un secteur d'activité qui ne soit concerné par cette vague de personnes plus âgées, non seulement en France, mais aussi dans le monde (*lire l'interview de Joseph Coughlin, p. 84*). Et la bonne nouvelle, sans tomber dans un optimisme béat, est que seule une petite fraction d'entre elles risque de se retrouver dépendante. Il faut donc s'attendre à vieillir plus longtemps, mais en meilleure santé qu'avant. En tout cas si l'augmentation de *« l'espérance de vie en bonne santé perçue »* constatée par l'Inserm continue sur sa lancée : depuis 2005, elle a crû de 1,5 an pour les hommes et de 1,6 an pour les femmes — soit plus que l'espérance de vie elle-même. Une perspective plutôt encourageante pour la société en général… et pour les acteurs des marchés technologiques ou de services en particulier !

LES PLUS DE 60 ANS EN FRANCE

15 millions en 2014

20 millions en 2030

LES PLUS DE 85 ANS EN FRANCE

1,4 million en 2014

4,8 millions en 2050

SOURCE : INED

Offrir aux aînés de vivre davantage chez eux

De fait, ceux-ci ont les yeux rivés sur les innovations qui permettront d'atteindre un même objectif : aider à *« mieux vieillir »*. La France n'est pas trop mal placée dans cette course mondiale, après l'Allemagne et le Japon, confrontés bien avant nous au vieillissement de leur population. *« Il existe une recherche fran-*

Une incitation forte pour les entreprises

Lancée par Arnaud Montebourg en avril 2013, alors qu'il était le ministre du Redressement productif, la filière de la *« Silver Économie »* serait susceptible de créer jusqu'à 300 000 emplois d'ici à 2020, selon certains experts. De quoi donner envie aux collectivités locales de se retrousser les manches. Une *Silver Valley* a ainsi vu le jour à Ivry-sur-Seine, en juillet 2013. *« Sur le modèle de la Silicon Valley californienne, il a pu s'y développer un écosystème car le foncier était disponible et la recherche facilitée »*, précise Jérôme Arnaud, son président. Cette structure est dédiée à l'innovation dans le lien social, la mobilité et l'habitat. Elle compte aujourd'hui 170 membres parmi lesquels figurent 80 entreprises, dont les deux tiers sont des start-up, mises en relation avec des grands groupes comme Microsoft, la SNCF, etc. Le but est de créer un lieu d'échange et d'expérimentation qui doit permettre d'accélérer le développement et la commercialisation de produits et services répondant aux usages des seniors. Plusieurs autres *« Silver Régions »* ont aussi vu le jour début 2014 : en Basse-Normandie d'abord, suivie de Midi-Pyrénées et Aquitaine, en attendant pour bientôt le Nord-Pas-de-Calais et les Pays de la Loire. Cette dénomination de Silver Région correspond à un label permettant de recevoir des fonds de l'Union européenne et de centraliser les besoins des seniors pour structurer une offre locale. **S. C.**

PAROLE D'EXPERT

CATHERINE BERGERET-AMSELEK,
SPÉCIALISTE DES ÂGES CLÉS DE LA VIE, PSYCHANALYSTE.

« Stop au racisme anti-âge ! »

« Au moment où une longévité inédite dans l'histoire de l'humanité nous annonce plus de retraités que d'actifs d'ici à quelques années, il est urgent de regarder autrement l'avancée en âge. Vieillir n'est pas une maladie, mais il faut des "tuteurs de résilience" – et pas uniquement des psy ! – pour que le mouvement de maturation qui marque toute notre vie puisse continuer. Les sexagénaires représentent une génération pivot : en pleine transition personnelle, ils doivent parfois s'occuper de leurs parents voire encore de leurs enfants ! Or dans notre société jeuniste, il existe un racisme anti-âge : on vous pousse à "vieillir jeune", à avoir une vie associative… vous finissez par avoir un "faux self" (un faux vous-même). Il faut d'abord rester en lien avec soi. Ce colloque veut décloisonner les âges de la vie et les acteurs impliqués : pouvoirs publics, associations et secteurs de soins. Une trentaine de professionnels de disciplines différentes y participent, avec des approches psychanalytiques, psychologiques, médicales, sociologiques, philosophiques, politiques et entrepreneuriales. Il est urgent de proposer d'autres formes de prévention, de promouvoir la solidarité intergénérationnelle et d'explorer tous les apports des nouvelles technologies au service de l'avancée en âge. »

JOHN FOLEY/OPALE

Catherine Bergeret-Amsalek organise le colloque pluridisciplinaire « Vivre ensemble, jeunes et vieux, aujourd'hui et demain » (voir ci- dessous), dont Sciences et Avenir est partenaire. Elle est l'auteur de La Vie à l'épreuve du temps *(2009, éd. Desclées de Brouwer).*

çaise solide et productive sur ces questions », souligne Vincent Rialle, chercheur au laboratoire Agim (Âge, imagerie, modélisation) du CNRS et de l'université Joseph-Fourier Grenoble 1. Certaines technologies, tels les robots compagnons chargés d'accomplir des tâches simples ou les exosquelettes palliant certains handicaps, ne sont pas encore en phase d'industrialisation. D'autres, moins spectaculaires, mais fort utiles dans la vie quotidienne — notamment en matière d'équipement de la maison — se développent à un rythme soutenu, en prenant notamment en compte le désir numéro un des seniors : « *rester le plus longtemps possible chez eux, pour ne pas être une charge, notamment pour leurs enfants* », précise Olivier Peyrat, directeur général de l'Afnor (Association française de normalisation), qui vient de publier une étude sur leurs attentes. « *Un désir d'autonomie qui est une spécificité française par rapport aux pays latins.* »

ESPÉRANCE DE VIE DES FRANÇAIS NÉS EN 2000

96 ans
pour 50 % des femmes

92 ans
pour 50 % des hommes

SOURCE : INED

Le maintien du lien ne doit pas devenir trop invasif

Confort de l'habitat, maison connectée, détection des chutes, dispositifs de sécurité… autant de services qui permettent ce maintien à domicile. Ils sont bien sûr facilités par les nouvelles technologies et la vague numérique, sur laquelle les seniors surfent eux aussi. En témoigne le succès des ordinateurs, tablettes et téléphones « *simplifiés* » comme Doro, Ordissimo, ou Bazile. « *Grâce à Internet, les liens avec la famille ou le voisinage sont préservés, ce qui explique le véritable plébiscite sur ces produits* », note Philippe Metzenthin, président de la FFD (Fédération française de domotique).

Pour autant, du chemin reste à faire. D'abord pour bien identifier les besoins et favoriser le « *vivre ensemble* » tout en évitant de tomber dans la stigmatisation d'une population qui ne se définit évidemment pas uniquement par son âge. De fait, la frontière entre le maintien du lien et la surveillance n'est pas toujours très clairement perçue, d'autant que les technologies peuvent permettre d'aller très loin dans l'inquisition : combien de fois le frigo a-t-il été ouvert, combien de temps passé devant les écrans, le nombre de visites reçues, etc. « *Si cela peut être utile pour des populations très spécifiques, comme les malades d'Alzheimer, cela ne fonctionne pas auprès de la grande majorité des seniors, qui détestent se sentir ainsi pistés* », souligne Michaël Carré, cofondateur de Médialis, une société de conseil et d'expertise en gérontechnologies. Autre ambiguïté : les ▶▶▶

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

6e colloque sur les âges de la vie,
les 7 et 8 février à l'Espace Reuilly à Paris

« Vivre ensemble, jeunes et vieux, aujourd'hui et demain »

▶ Renseignements, inscriptions et programme complet sur : **www.cause-des-aines.fr** - Tél. : 01 49 10 38 92

TÉMOIGNAGE

JOSEPH F. COUGHLIN,

PATRON DE L'AGELAB DE L'INSTITUT DE TECHNOLOGIE DU MASSACHUSETTS (MIT).

« Les babyboomers veulent rester actifs jusqu'au bout »

Il est l'homme qui veut mettre l'innovation au service des sociétés vieillissantes, au Japon, en Europe, aux États-Unis... Il fut l'un des intervenants stars – non dénué d'humour politiquement incorrect – à la mi-novembre à Berlin, lors de la 6e conférence internationale « Falling Walls », à laquelle Sciences et Avenir était convié. Inaugurée par la chancelière Angela Merkel, elle avait pour but de mettre en exergue les futures avancées majeures en science.

« La démographie actuelle est une démographie de rupture. Non seulement nous sommes de plus en plus nombreux sur la planète, mais nous avons beaucoup plus de chances de vivre bien plus longtemps et... en bonne santé. La technologie va nous y aider. En 2047, la planète sera à un carrefour : les plus de soixante ans seront plus nombreux que les moins de quinze ans. Environ deux milliards. Jamais l'humanité n'a connu pareille situation ! Tout va être bouleversé : travail, loisirs, habitat... S'il y a une image à retenir, c'est bien celle-ci : au Japon, dont la population est aujourd'hui de 127 millions, et qui pourrait descendre jusqu'à 80-85 millions à la moitié du XXIe siècle, on vend déjà plus de couches pour adultes que pour bébés ! Pourquoi va-t-il y avoir une convergence entre le vieillissement et la technologie ? Parce que nos générations de babyboomers ont de fortes attentes. Nous voulons rester actifs. Aux États-Unis, des sondages ont montré que 40 % des gens au-dessus de 56 ans pensaient continuer à travailler jusqu'à leurs derniers jours. Non seulement pour l'argent, mais aussi pour demeurer insérés dans la société et que leur vie garde un sens.

En clair, nous aurons peut-être une, deux, trois, voire quatre pathologies (diabète, hypertension...), mais nous ne serons pas hors service. On pourra vivre avec, promener le chien, aller voir ses petits-enfants, et travailler (ce qui ne signifie pas forcément continuer à se rendre sur un lieu de travail). Ce sera notre nouveau défi. Et pour cela, nous aurons des implants, des cuillères ou fourchettes qui détectent le nombre de calories que nous ingérons, etc. et toutes ces données seront communiquées via Internet à notre médecin ou notre nutritionniste...

Dans mon laboratoire, nous travaillons sur le système AGNES (Age Gain Now Empathy System), un équipement qui permet de mimer ce que l'on ressent (motricité, vision, souplesse, dextérité, force) selon sa condition physique, quand on a entre 75 et 80 ans. Nous découvrons ainsi tout ce qu'il faut modifier pour conserver une vie quotidienne agréable : portière de voiture facile à ouvrir, accès aisé aux transports en commun, étagères à hauteur réduite pour les produits de la grande distribution... Peut-être ne déménagerez-vous pas dans une « maison du futur », mais c'est elle qui viendra à vous, avec des équipements plus « intelligents » ! Imaginez par exemple un miroir capable de faire tous les jours un examen de vos capillaires sur le visage. Et qui vous dise : « *Hé, Joe, ta pression sanguine augmente !* » L'idée étant de faire des examens avant qu'il ne soit trop tard...

Connaissez-vous les toilettes « intelligentes » déjà en usage au Japon ? Elles détectent notre température, savent si nous avons pris nos médicaments, ce que nous avons consommé... Des informations qui pourraient être communiquées à un hôpital, à un proche. Mais il y a bien d'autres choses ! Comme penser à s'amuser. Savez-vous qu'on trouve le taux de divorce le plus élevé à travers la planète chez les plus de... 70 ans ? Ce sont les femmes qui le demandent et 90 % d'entre elles vous diront que c'est parce que leur compagnon les ennuie. Il y a de l'avenir pour les rencontres en ligne, et pas seulement pour les jeunes. »

Propos recueillis par Dominique Leglu

Pour en savoir plus, la vidéo :
http://www.falling-walls.com/videos/Joseph-F.-Coughlin-4098

COURTESY J.F. COUGHLIN

▶▶▶ seniors refusent le marketing à outrance et « *les produits étiquetés "petits vieux"* », poursuit Michaël Carré. Ce qui ne les empêche pas d'être demandeurs de produits et services adaptés à leurs problèmes spécifiques ou dont le mode d'emploi est simplifié. Au-delà des technologies performantes, voire révolutionnaires, les innovations « *d'usage* » ou « *d'organisation* » peuvent donc aussi changer la vie des plus âgés. « *Elles permettent d'éviter les abandons d'utilisation de certaines pratiques* », souligne Franck Lehuédé, chef de projet au Crédoc. « *On peut ainsi imaginer des services spécifiques en gare, du covoiturage, des voitures électriques pour les pensionnaires de maisons de retraite* », énumère Jérôme Arnaud, le président de la Silver Valley et patron de la société suédoise Doro, leader sur le marché des téléphones simplifiés. Encore faut-il pour cela que les intervenants du médical, de l'industrie, et du social se parlent. « *Il faut maintenant que les acteurs s'interconnectent*, reconnaît Jérôme Arnaud. *Mais les idées et le potentiel de croissance sont bien présents.* » ■

Claire Aubé

8h30 balade au marché

16h15 thé dans mon salon

20h je cuisine avec ma petite fille

ça donne envie d'en profiter.

Voyager, partager, sortir, apprendre.... Les séniors d'aujourd'hui ont envie de mordre la vie à pleines dents. Pour cette raison, les résidences COGEDIM Club® proposent des logements de standing qui permettent de conserver un lien social fort dans un cadre qui associe la tranquillité, le dynamisme de la ville, et des services en plus qui simplifient le quotidien.

NOS IMPLANTATIONS

SÈVRES (92)
72 -78 Grande Rue

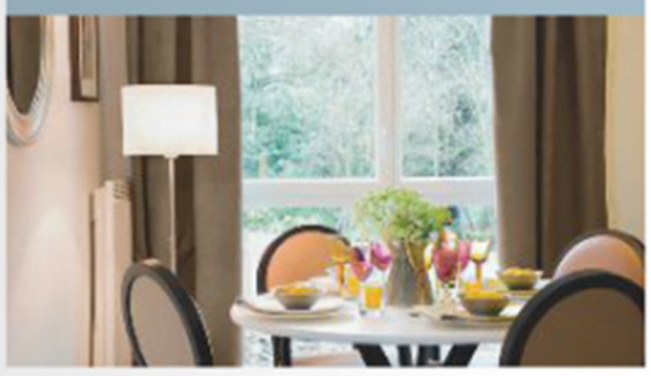
VILLEJUIF (94)
114 rue Jean-Jaurès

ARCACHON (33)
6 rue Lanine

PÉGOMAS (06)
154 avenue de Grasse

CHAMBÉRY (73)
rue Burdin

BÉNODET (29)
45 avenue de la Plage



RCS : B 323790956 Altavia Paris - Crédits photos : Bruno Ruffini - Photos non contractuelles.

Au cœur de la ville, au cœur de la vie

Pour favoriser une vie sociale active et ainsi éviter l'isolement, les résidences COGEDIM Club® ont la particularité d'être toutes implantées en cœur de ville. Transports, commerces et services publics sont donc accessibles à pied. Cette situation géographique permet également de recevoir facilement des visiteurs, qui peuvent, s'ils le souhaitent, séjourner dans un appartement d'hôte.

Une vraie résidence, et des services en plus

Chez COGEDIM Club®, on se sent tout de suite bien entouré. Une équipe présente 7j/7 contrôle l'accès, dirige les visiteurs, réceptionne le courrier, transmet les messages et peut organiser des réservations ou un dépôt pressing, comme un véritable service de conciergerie hôtelière. Au-delà, de nombreux de services à la carte sont proposés, pour entretenir son appartement (ménage, bricolage), se détendre (salon, bibliothèque, restaurant), et rester actif (ateliers forme, bien-être...).

5 AVANTAGES COGEDIM Club®

1 **Situation en centre-ville**
2 **Environnement confortable et sécurisé**
3 **Services inclus et à la carte**
4 **Location au prix du marché**
5 **Charges maîtrisées**

Un budget maîtrisé pour bien d'autres plaisirs

Ce nouveau concept d'habitat est moins coûteux qu'une solution de maintien à domicile. Les résidences COGEDIM Club®, au prix du marché, intègrent en effet des avantages substantiels : télé assistance, abonnement téléphonie fixe* et internet et équipements de sécurité adaptés. Pour les prestations à la carte, chacun est libre de consommer ce qu'il veut, selon son budget et ses besoins.

*** Résidences ***
COGEDIM club®

* depuis un poste fixe vers la métropole

CONTACT : **Cécile 01 56 26 28 72 - cogedim-club.com - contact@cogedim-club.com**

Et la maison devient intelligente...

Pour permettre de rester le plus longtemps possible chez soi, même quand on devient moins autonome, les solutions se multiplient, grâce à la démocratisation de la domotique et à l'amélioration de l'ergonomie.

Sondages et études montrent que, dans leur immense majorité, les Français interrogés souhaitent rester à leur domicile le plus longtemps possible, même en étant très âgés. Seul problème : « *Le taux d'adaptation des logements aux seniors et personnes à mobilité réduite n'est que de 6 % en France* », déplore Mohamed Malki, consultant expert du bien-vieillir. « *Les résidences-services pour seniors conviennent bien à ceux qui, sans être dépendants, peuvent néanmoins être fragiles. Ils y trouvent des logements confortables, sécurisés, ont accès à des services quotidiens et une vie sociale.* » Les structures collectives sont donc souvent en pointe, conçues d'emblée pour répondre à la perte d'autonomie. Et les grands constructeurs s'intéressent beaucoup au marché des résidences haut de gamme domotisées. Comme la Villa Sully de GDP Vendôme, près d'Annecy, avec ses appartements intelligents et évolutifs bien sécurisés.

Autre possibilité, adapter son logement en cas de situation de dépendance ou de fragilisation. Les sanitaires sont particulièrement concernés, car en général difficiles d'utilisation pour les personnes à mobilité réduite. D'où des solutions globales, comme Sanilife, qui commercialise WC et lavabos à hauteur variable. Ou Kinemagic qui permet de remplacer une baignoire, peu pratique, par une douche spacieuse avec des barres de maintien, un siège rabattable et un revêtement antidérapant. Mais parfois, les travaux d'aménagement nécessaires sont de grande ampleur et d'un coût très élevé. C'est pourquoi Silver Cottage propose d'implanter dans le jardin de la personne âgée ou de ses proches un bungalow tout équipé, une sorte de deuxième maison, mais toujours dans le cadre de « sa » maison, évitant ainsi un déménagement toujours plus déstabilisant avec l'âge.

La recherche d'innovation se poursuit également dans des appartements témoins high tech, vitrines d'expérimentation de la maison intelligente. Dernier en date, Silver Concept, espace évolutif et personnalisable, modulaire et connecté. Conçu par des entreprises de la région Nord-Pas-de-Calais avec le Clubster Santé de la région et le CHU de Lille, le prototype était présenté début décembre à Lille. Dans la chambre et la salle de bains, un tapis de sol détecte les chutes et envoie une alerte automatique. Un guidon relié à des rails fixés au plafond aide à se lever du lit, ou à se relever en cas de chute. Dans la cuisine, tous les ▶▶▶

MELANIE CHALLE

Les installations ergonomiques, et celles relevant de la domotique, n'équipent actuellement que 6 % des habitations en France. Des expérimentations démontrent l'intérêt de développer ce secteur.

ÉQUIPEMENTS

Les solutions anti-dépendance

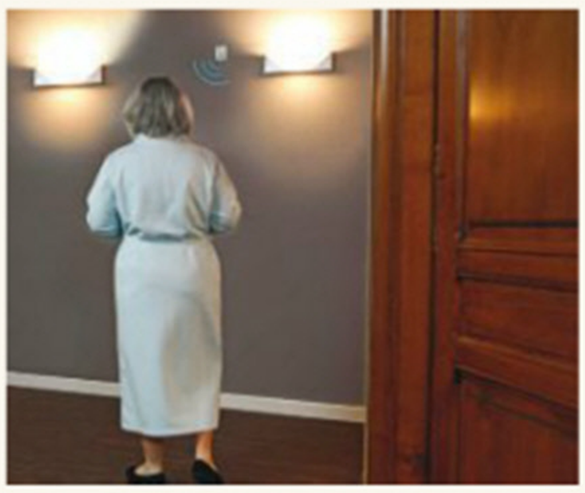
Des innovations et aménagements permettent d'améliorer le quotidien chez soi pour garder son autonomie et rendre le domicile plus sûr.

CHRISTOPHE KAISER

La centrale connectée

La marque Hager a mis au point avec Microsoft Domovea un tableau de bord pour toute la maison qui rend le domicile intelligent. Téléchargeable sur une tablette numérique, un smartphone ou un ordinateur, le logiciel domotique permet de contrôler et commander, de manière centralisée et à distance, la lumière, les stores ou volets roulants, le chauffage, la ventilation, le système de détection de présence, etc. Cette solution est aussi accessible via le portail sécurisé www.domovea.com.

PHILIPPE BAUDUIN



TOTO

Les toilettes hyper-technologiques

Toto, marque japonaise pionnière sur ce créneau, propose des WC adaptés aux personnes à mobilité réduite et aux seniors voulant garder leur autonomie, avec accoudoirs ou siège basculant légèrement pour se lever ou s'asseoir plus facilement. Un prototype prend même la tension, analyse l'insuline et l'urine ! La France n'a pas encore accès à de telles prouesses technologiques, mais Toto y commercialise déjà le modèle SG à télécommande : un jet d'eau suivi d'un séchage remplace le papier toilette ; l'abattant se lève et se baisse tout seul ; la chasse d'eau est automatique ; et les WC sont autonettoyants.

LAPEYRE

Les chemins lumineux

Les chutes représentent 85 % des accidents des plus de 65 ans. Elles peuvent avoir de graves conséquences, avec des fractures créant des situations de dépendance... Elles surviennent souvent à cause d'un mauvais éclairage, en particulier la nuit, par exemple pour se déplacer de la chambre jusqu'aux toilettes. La marque Legrand propose un chemin lumineux au sol, automatisé grâce à un détecteur de mouvements et d'intensité douce. Mais aussi des interrupteurs plus visibles que les modèles habituels : soit de couleur, pour trancher sur le mur, soit avec couronne lumineuse pour les voir dans le noir.

La salle de bain modulable

Le fabricant Lapeyre possède une gamme « indépendance des seniors et accessibilité ». Avec l'école des Ponts, il a imaginé Concept'Care, meuble de salle de bains modulable. Il comprend un fauteuil qui s'encastre sous un lavabo recouvrable, un robinet avec douchette extractible, une prise et des tiroirs facilement accessibles, un miroir amovible et orientable. Gestes et déplacements sont ainsi limités : les objets viennent à l'utilisateur, qui est assis, et non le contraire. Nominé fin 2014 pour la bourse Charles-Foix, qui récompense les projets innovants permettant d'améliorer la qualité de vie et l'autonomie des seniors, il sera en vente en début d'année.

FUTUR

Le robot, un compagnon utile

Ce n'est déjà plus de la science-fiction, mais un futur proche où les robots aideront à préserver l'autonomie. Bien qu'encore très onéreux, certains modèles ou prototypes en donnent un avant-goût.

ZELT PRODUCTION

Roméo, l'humanoïde

Avec ce projet lancé en 2009, Aldebaran Robotics approfondit la recherche sur les robots d'aide aux personnes. Roméo, 1 m 40, peut monter un escalier, attraper des ustensiles sur une table et offrir son bras pour se déplacer. Des exemplaires ont été commandés par des labos français et européens pour le transformer, à terme, en assistant personnel.

ZELT PRODUCTION

Sami, le centaure

Avec sa base roulante et sa tête digne d'un dessin animé, il ne fait pas très sérieux. Pourtant, Sami, créé par le Centre de robotique intégrée d'Île-de-France (Criif), est

CRIIF

robuste et précis. Il est guidé à distance pour assister une personne dépendante : l'aider à se relever, à prendre en main des objets, à ouvrir une porte.

BEAM

Beam+, le communicant

Un robot simplissime pour les technophobes... Celui qui vit avec lui n'a qu'à l'allumer ou l'éteindre. C'est un proche qui le pilote à distance : depuis le clavier d'un ordinateur équipé d'une webcam et d'un micro, il dirige Beam+, pourvu d'une télé et d'une caméra, en suivant la personne âgée chez elle, comme s'il y était. Ce robot sera commercialisé au printemps 2015 au prix de 2 000 €.

Kompaï, le modulable

Mi-R2D2 de *La Guerre des étoiles*, mi-personnage des studios Pixar, Kompaï est modulable grâce à ses outils interactifs : tablette tactile connectée, webcam sur la tête, roues. Robosoft, la société française qui l'a imaginé, a notamment pensé aux usages médicaux : rappel de prise de médicaments, relevé du poids et de la tension transmis au médecin, vidéoconférence, etc.

▶▶▶ éléments (les placards, les plaques de cuisson, l'évier) montent et descendent. Quant au réfrigérateur, il est capable d'alerter si des produits dépassent la date de péremption. L'ensemble des murs est pourvu d'une discrète main courante continue.

Par ailleurs, en mai prochain, des seniors vendéens vont tester un système mis au point par Orange et Harmonie Mutuelle. Son but est de sécuriser le domicile et d'assurer le suivi comportemental des personnes âgées chez elles. Le capteur électrique M@PA, installé sur le compteur, mesure leur activité à travers l'usage des appareils électriques. Les données sont transmises au médecin traitant et/ou à la famille. En cas de changement de rythme ou d'habitudes, l'alerte est donnée. Autre innovation, « Orange my plug 2 » est une prise intelligente pour éteindre ou allumer à distance les appareils électriques, et pour prévenir les aidants en cas de coupure de courant, de détection de fumée ou de fuite d'eau. Ce dispositif est complété par un médaillon avec bouton d'alerte à porter sur soi, relié à un service de téléassistance.

Annie de Vivie, créatrice du portail web ÂgeVillage, émet cependant quelques réserves en ce qui concerne ces solutions techniques nouvelles : « *La technologie est intéressante et nécessaire, mais elle ne doit pas stigmatiser, ni déshumaniser... Où faut-il placer le curseur ? Quel est le message envoyé lorsque l'on installe des capteurs et des caméras partout dans la maison ? Il est important d'y réfléchir...* »

Même prudence de la part de Pascal Champvert, le président de l'AD-PA, association des directeurs de services à domicile et de maisons de retraite : « *Les nouvelles technologies ne vont pas régler tous les problèmes et les insuffisances dans l'accompagnement des personnes âgées. Elles simplifient, elles accompagnent, voire permettent de s'affranchir de certaines actions fastidieuses. Mais les relations humaines restent incontournables. Les peurs et les angoisses ne se règlent pas uniquement avec des machines.* » Big Brother n'a qu'à bien se tenir... ■

Stéphanie Condis

« Les peurs et les angoisses ne se règlent pas uniquement avec des machines »

Pascal Champvert, président de l'AD-PA, association des directeurs de services à domicile et de maisons de retraite.

DOMITYS

Vivre l'esprit libre

Vivre l'esprit libre, ça change tout !

Les résidences services seniors, **vous connaissez ?**

Avec DOMITYS, découvrez une nouvelle génération de résidences services qui fait aujourd'hui la satisfaction de milliers de résidents partout en France.

Le secret du bien-être DOMITYS ? Il tient en quelques mots : un cadre de vie privilégié, des appartements confortables et adaptés, des équipes attentives, des activités variées... **Et des services de qualité** qui vous facilitent la vie tous les jours si vous le souhaitez.

Chez DOMITYS, vous **vivez l'esprit libre,** en profitant d'une vie plus sûre et plus facile, sans renoncer à votre totale liberté.

Nos résidences disposent aussi d'appartements meublés pouvant vous accueillir pour des séjours de courte durée qui à coup sûr finiront de vous convaincre !

Une résidence DOMITYS ne se raconte pas, elle se visite !

N°1 des Résidences Services Seniors

www.domitys.fr **02 47 51 7000**

Plus de 40 résidences ouvertes en France !

Investir dans une résidence DOMITYS, c'est possible !
02 47 51 8000

Des bouquets de service très attendus

À l'image de La Poste, quantité de sociétés se consacrent aux services à domicile aux personnes âgées. Mais la synergie entre elles reste à améliorer.

LA POSTE

Mais que diable faisait La Poste à Las Vegas ? Lors du dernier salon high-tech CES (Consumer Electronics Show), début janvier, elle y a présenté son nouveau hub numérique, reliant tous les objets connectés de la maison (alarme, chauffage, pèse-personne, etc.) pour les piloter avec une application simplifiée et intuitive, depuis un smartphone, une tablette ou un ordinateur. Ce hub devrait être commercialisé à la fin du premier trimestre 2015. Tout a été pensé pour être accessible à tous, quel que soit l'âge. Mais le groupe veut aussi développer ce type de système plus spécifiquement pour les seniors. « *Nous allons mettre en place des plateformes numériques multisectorielles à domicile* », précise Olivier Baccialone, délégué au développement régional du groupe. « *Elles permettront d'alerter en cas de chute, de commander les volets, de se connecter à des offres de services comme la livraison de repas, la télémédecine, etc.* » Un futur proche pour La Poste, mais c'est déjà le présent de la société Bluelinea. Elle commercialise l'abonnement « *Blue Home Care* » avec pack d'objets connectés : bracelet détecteur de chute relié à un service d'assistance ; mesure et suivi à distance de la tension, de la température ou du poids ; et même un carnet de liaison électronique pour coordonner les aidants qui écrivent des notes converties en données informatiques grâce à un stylo numérique intelligent.
Quant à la plateforme de services d'Elderis, elle est accessible depuis une télé connectée, plus facile à utiliser qu'un ordinateur ou une tablette pour certains seniors peu férus d'informatique : e-mails, partage de photos, visiophonie, alerte pour la prise d'un traitement, etc.

Les services restent parfois en retard sur la technologie

Les « *boxes* » qui se sont multipliées dans nos foyers pour fournir Internet, téléphone et TV peuvent devenir « *quadruple play* », en offrant d'autres services très diversifiés. Mais encore faut-il les organiser et les regrouper ! Les téléphones mobiles équipés d'un bouton d'alerte en cas de malaise ou de chute, par exemple, ne servent à rien si l'on ne propose pas avec un abonnement de téléassistance... Or il arrive que l'innovation technique soit en avance sur les services. D'autant que la Silver Économie est un secteur essentiellement constitué de start-up, peu structurées pour toucher le plus grand nombre. « *Il existe une constellation de services qu'il faut rassembler en bouquets, en dispositifs complets et évolutifs associant différents opérateurs mais avec une seule interface pour le client* », note Mohamed Malki, consultant expert du bien-vieillir. « *Et ce pour éviter de se perdre dans une multitude d'offres et d'interlocuteurs.* » Face à ce constat, Nadia Frontigny, vice-présidente d'Orange Santé, regrette qu'il n'y ait pas encore assez d'« *opérateurs-pivots pour coordonner tous les acteurs spécialisés dans la prise en charge globale des personnes âgées, y compris en télémédecine.* » C'est bien l'enjeu des prochaines années... ■

Stéphanie Condis

Le facteur sonne plusieurs fois

La Poste, forte de son réseau de 80 000 facteurs dans toute la France, assure une assistance aux personnes âgées ou isolées avec divers services.
Cohésio : visites ponctuelles ou récurrentes à domicile pour vérifier que tout va bien.
Porteo : portage à la maison de médicaments et biens culturels (comme des livres de bibliothèque).
Onela : bouquet de services dédiés au confort des seniors, expérimenté en Aquitaine.

APRES LE BOOM DES NAISSANCES, LE BOOM DES RENAISSANCES

73%*
ont augmenté leur niveau d'activités physiques

85%*
ont maintenu leur perte de poids

76%*
ont augmenté leur périmètre de marche

95%*
ont moins de lourdeurs de jambes

77%*
ont moins de troubles respiratoires

Douleurs articulaires, Jambes lourdes, Difficultés respiratoires, Mal de dos, Obésité

* 3, 6, 9 mois après leur cure thermale, les 20 781 curistes interrogés par l'Observatoire de la Chaîne Thermale du Soleil témoignent, en majorité, d'une amélioration de leurs symptômes et de leur état de santé. C'est le résultat de l'efficacité durable des cures thermales prouvée par de récentes études cliniques. Soulager vos douleurs, réduire votre consommation de médicaments et prévenir les complications ou risques de récidives : nos 1200 médecins thermaux, kinésithérapeutes, hydrothérapeutes et diététiciens déployés dans nos 20 centres se mobilisent pour vous y aider.

On ne peut pas garder sa jeunesse à vie. Mais aujourd'hui, on peut l'entretenir.

AGENCE MEESTERS

CHAÎNE THERMALE DU SOLEIL

agit naturellement pour votre santé

+20 000 curistes témoignent sur chainethermale.fr

Je désire recevoir gratuitement le **guide 2015** des cures Chaîne Thermale du Soleil

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____ Ville _____ CP _____

Tél. _____ Email _____

Merci de renvoyer ce coupon à : Chaîne Thermale du Soleil - 32, av. de l'Opéra - 75002 Paris

Conformément à la loi informatique et libertés n° 78.17 du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant.

documentation et renseignements gratuits au

N° Vert 0 800 05 05 32

et sur www.chainethermale.fr

SA 02/15

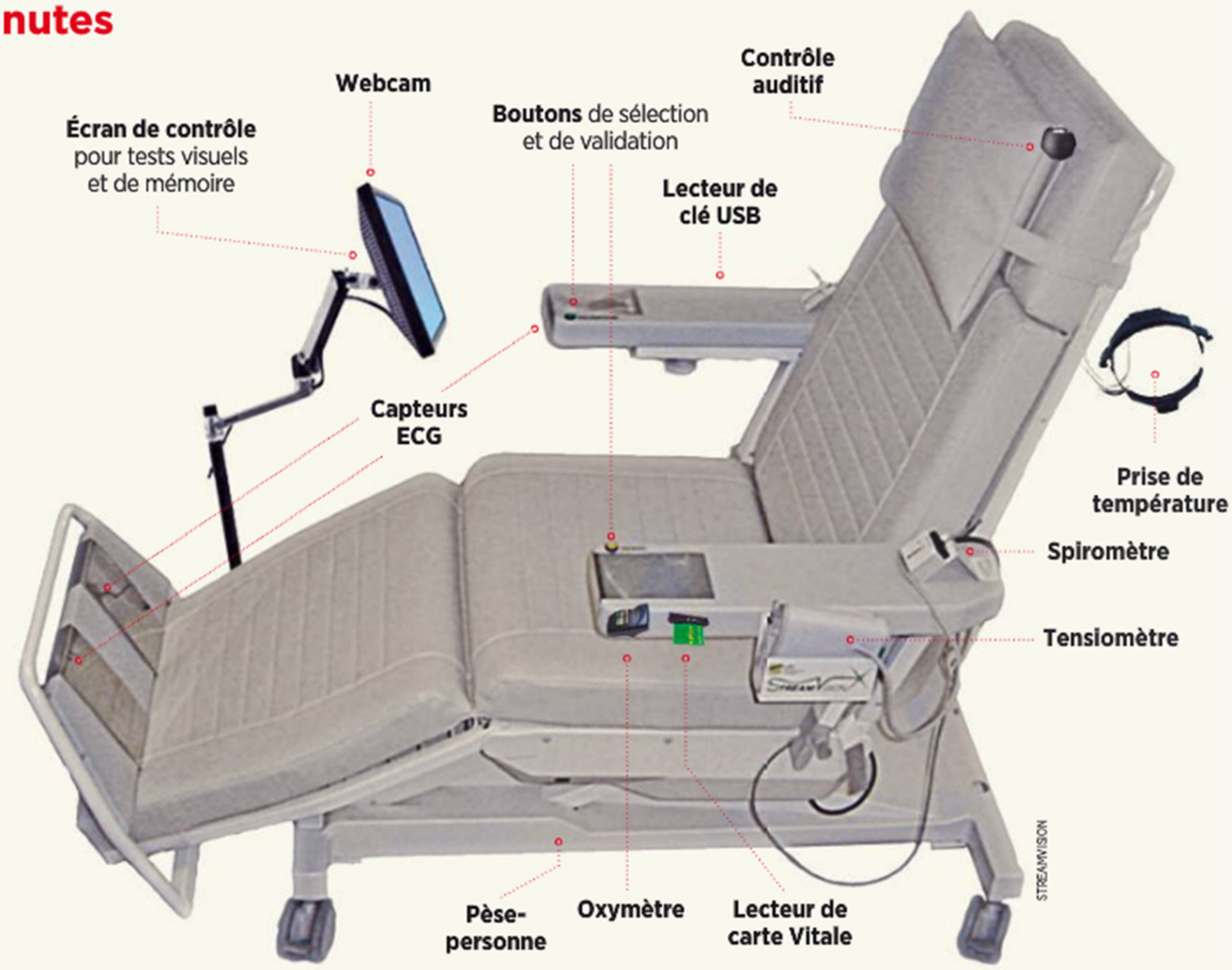
La révolution de la télémédecine

Téléconsultation, télésurveillance à domicile... En France, 350 expériences de médecine à distance sont actuellement menées. Une pratique érigée en priorité.

Consulter un spécialiste, suivre l'évolution d'une plaie ou d'une maladie chronique sans être obligé de parcourir des dizaines de kilomètres... La perspective est alléchante dans un pays où les déserts médicaux sont légion. Voilà pourquoi la télémédecine suscite aujourd'hui tant d'intérêt. Désormais « priorité nationale » (*lire encadré p. 93*), cette pratique à distance s'appuyant sur des nouvelles technologies de plus en plus rapides, mobiles, miniaturisées et performantes, fait déjà l'objet de 350 expérimentations dans l'Hexagone. Deux solutions globales de proximité ont fait tout récemment leur entrée en scène : le check@flash de StreamVision (*lire encadré ci-dessous*) et la Consult Cabin, tous deux capables de fournir un bilan de santé complet en un temps record et d'obtenir une téléconsultation via une webcam. Créée par H4D, la Consult Cabin est déjà testée dans six résidences pour personnes âgées, un service d'urgence et une caserne de pompiers. Bientôt, elle pourrait équiper mairies et Ehpad (établissement d'hébergement pour personnes âgées

Un check-up en 7 minutes

Sept minutes, pas une de plus, c'est le temps qu'il faut à ce fauteuil intelligent pour évaluer notre état de santé. Nous voilà à peine assis qu'il détecte notre poids et mesure avec précision température, volume d'air dans les poumons, taux d'oxygène dans le sang et capacités auditives et visuelles. Plus fort encore, il réalise un électrocardiogramme (ECG) sans pinces ni gel, grâce à un alliage spécial sur lequel il suffit de poser les mains et les pieds. Analysées par le fauteuil, les données recueillies sont ensuite stockées dans une clé USB personnelle et envoyées après cryptage vers un serveur. En cas d'anomalie, une alerte se déclenche et une webcam permet de dialoguer avec le médecin traitant. Dernière particularité de ce fauteuil pliable testé depuis janvier 2015 dans quatre Ehpad d'Île-de-France et de Picardie, il peut aussi être embarqué dans un véhicule. Il est destiné à « *lever le doute en cas d'urgence* » et sa mise sur le marché pourrait intervenir dès la fin de l'année selon StreamVision, son fabricant. **C. B.**



dépendantes) isolés si l'on en croit la start-up française qui prévoit « *l'implantation d'une quarantaine de cabines en 2015* ». Pas question toutefois de fournir des bilans de santé en libre-service : l'accès sera « *régulé* » (par exemple par le Samu), prévient H4D.
Parallèlement, plusieurs dispositifs de télésurveillance visant à favoriser le suivi à domicile des malades chroniques sont expérimentés sur le territoire : Cardiauvergne et son logiciel d'alerte qui scrute les variations de poids détectées par une balance connectée mise à disposition des insuffisants cardiaques ; ou SmartView, la solution d'Orange, qui envoie par mail au cardiologue l'activité du cœur de personnes porteuses de prothèses Sorin (des défibrillateurs connectés) : ou encore Diabéo, l'application mobile médicale de Sanofi permettant aux diabétiques d'adapter leurs injections d'insuline en fonction de la composition de leur repas.
Demain, de nouveaux microcapteurs communicants pourraient servir de support à la télémédecine afin d'améliorer la qualité de vie des malades chroniques et de leurs aidants. Le géant américain Google prépare ainsi une lentille de contact pour diabétique analysant le taux de glucose des larmes. Dans un avenir plus proche, des innovations *made in France* connectées devraient intervenir en faveur d'un suivi post-opératoire à domicile : la gélule-thermomètre e-Celsius de Body Cap, contre le risque de surinfection ; le D-Shirt santé développé par Cityzen Sciences dont la fibre textile analyse les paramètres vitaux de son porteur. Et en matière de rééducation, des outils de mesure de l'intensité de l'effort font leur apparition : le patch e-Tact de Body Cap à coller sur la poitrine (qui mesure l'activité et l'engagement physique au cours de la journée) ou l'attelle de genou en tissu intelligent de Cityzen Sciences (qui vérifie le bon déroulement d'une rééducation post-opératoire).

« Il n'existe plus aucun frein technologique au développement de cette forme de médecine »
Nadia Frontigny, vice-président de Care Management (groupe Orange)

La question du financement ne devra pas être négligée

« *Il n'existe plus aucun frein technologique au développement de la télémédecine*, explique Nadia Frontigny, vice-président de Care Management, l'entité santé du groupe Orange. *Pour autant, mettre de la technologie partout n'a aucun sens si on ne renforce pas en parallèle l'accompagnement sanitaire, social et médico-social* », relativise-t-elle, pointant également un problème de financement de la demande privée. Quoi qu'il en soit, « *la e-santé* [ndlr : plus vaste et moins réglementée que la télémédecine] *est amenée à prendre de plus en plus de place dans notre quotidien* », prédit Jérôme Pigniez, de l'Asipag, le syndicat national de la Silver Économie. Déjà, bracelets connectés, piluliers intelligents (MedSecure et, au printemps, Imedipac) et applications mobiles de santé s'immiscent dans la vie quotidienne des Français. « *Autant d'instruments d'autogestion qui collectent des données numériques précieuses pour le médecin, mais dont la sécurité de l'hébergement n'est pas toujours garantie* », prévient Pierre Traineau, à la tête du Catel, association réunissant les acteurs de télésanté. Une réserve sérieuse à prendre en compte. ■

Chloé Belleret

COURTESY R. SIMON

PAROLE D'EXPERT

DR PIERRE SIMON, PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE TÉLÉMÉDECINE

« Une stratégie nationale de déploiement »

La France est-elle en retard en matière de télémédecine ?
Les pays scandinaves et le Canada sont plus en avance car ils sont confrontés aux déserts médicaux depuis plus longtemps que nous. Mais nous n'avons pas à rougir. Des expériences pilotes existent depuis 20 ans et depuis 2011, l'État a érigé cinq priorités : trois concernent la télémédecine hospitalière et deux autres la télémédecine ambulatoire (la télésurveillance des malades chroniques — soit trois millions de personnes — et la téléconsultation dans les structures médico-sociales).

L'accès aux soins n'est pas l'unique enjeu…
Non. À titre d'exemple, 350 000 insuffisants cardiaques sont hospitalisés durant 12 à 13 jours par an en moyenne. Or, en prévenant toute aggravation grâce à la télésurveillance, on économiserait au moins un milliard d'euros chaque année de frais d'hospitalisation. C'est considérable ! De plus, 80 % des personnes qui viennent aux urgences le font faute d'avoir obtenu un rendez-vous chez leur médecin. Or, en réorganisant les soins de premiers recours, la téléconsultation permettrait de sortir de l'« hospitalocentrisme ».

Pourquoi la télémédecine ne se généralise-t-elle pas plus vite ?
En 4 ans, 45 millions d'euros ont été alloués aux agences régionales de santé, mais cela ne suffit pas. Il faut repenser l'organisation du système sanitaire : redéfinir le travail des professionnels de santé, permettre aux hôpitaux qui freinent le processus de compenser leur manque à gagner, améliorer l'interopérabilité des différents systèmes de dossiers médicaux informatisés et arrêter un modèle durable de financement.

Propos recueillis par C. B. ▶

La tête et les jambes

Entraînement cérébral, gym adaptée... De nombreuses activités destinées à s'entretenir s'appuient désormais sur les technologies numériques.

Si les bienfaits d'une activité physique régulière ne sont plus à démontrer, après 60 ans, l'envie de bouger, elle, se heurte bien souvent à plus d'un obstacle (arthrose, peur de se blesser, etc.). Pourtant, rester actif constitue le meilleur moyen de repousser la perte d'autonomie. Aussi, de nombreux cours individuels (Domisiel) ou collectifs (Siel Bleu) adaptés au handicap, à certaines pathologies ou tout simplement aux problématiques liées à l'âge ont vu le jour un peu partout en France. Objectif de ces « activités physiques adaptées » (APA), s'entretenir sans s'abîmer. Gym douce, taï chi, exercices de renforcement musculaire et de prévention des chutes, « gym sur chaise »... autant d'activités plus ou moins dynamiques qui pourraient à terme être supervisées à distance grâce à la visioconférence multipoint et à la plate-forme NTIC « Motion », développée par un consortium européen. Le modèle ? « *Un coach pour quatre personnes ayant des capacités physiques équivalentes connectées depuis leur domicile* », indique Jean-Pierre Savary, responsable innovation chez Siel Bleu et coordinateur du projet dont la première expérimentation débutera à Caen dès 2016. « *À terme, des capteurs de paramètres et de mouvements seront ajoutés au dispositif* », précise l'ergonome.

« Les firmes anticipent le fait que la génération des jeux vidéos va elle aussi vieillir »

Julian Alvarez, resposable du Play Research Lab à la CCI Grand Hainaut de Valenciennes.

Une chose est sûre, le monde numérique n'a pas fini d'innover pour entretenir la forme des aînés, à l'image de la société Happy Neuron qui propose sur le Net des exercices de gym du cerveau sur abonnement. « *Depuis un an, on voit aussi fleurir beaucoup de programmes de stimulation cognitive sur les plateformes d'applications* », confirme Guillaume Marchand, président du site d'évaluation DMD Santé. Pour Julian Alvarez, spécialiste en *serious games* (jeux vidéo éducatifs) et responsable du Play Research Lab à la chambre de commerce et d'industrie Grand Hainaut (Valenciennes), c'est clair : « *les firmes anticipent désormais le vieillissement de la génération jeux vidéo* ». Les poids lourds du secteur n'ont d'ailleurs pas manqué l'occasion : Nintendo avec son célèbre « Programme d'entraînement cérébral du Dr Kawashima », ou l'éditeur Namco Ban- ▶▶▶

NUMÉRIQUE

Un nouveau monde s'ouvre aux seniors

En France, les plus de 70 ans sont encore peu connectés à Internet. Et s'ils sont 59 % à posséder un téléphone mobile (contre 89 % de tous les Français), la proportion tombe à 5 % pour les smartphones (contre 39 % des Français). Ces statistiques, mises en évidence par le Credoc, traduisent un fossé numérique que Serge Tisseron, psychiatre spécialiste de cette problématique, explique ainsi : « *Les technologies numériques sont dissuasives car elles évoluent vite. Les seniors ont plus de mal à oublier les infos obsolètes pour en accueillir de nouvelles. La plasticité cérébrale est nécessaire dans le numérique, mais une fois qu'on s'y met, on augmente sa souplesse psychique, à tout âge. De plus, ces nouvelles technologies nécessitent d'avoir une curiosité décomplexée, de ne pas avoir peur de se tromper. Or les seniors ont été éduqués dans l'idée de réfléchir avant d'agir, de lire le mode d'emploi... Il faut qu'ils se désinhibent !* » D'autant qu'Internet permet de sortir de l'isolement. À condition d'adapter les sites, rappelle Annie de Vivie, présidente du portail Âgevillage : « *L'ergonomie des sites web est intégrée à la plupart des appels à projet publics ; ils doivent être facilement lus et compris.* » Elle constate que même les 80-90 ans s'approprient les tablettes qu'on leur offre. Il existe des modèles simplifiés comme Tooti Family, qui affiche des caractères plus gros et propose une navigation aisée. Pour surfer, des marques comme Ordissimo, *(photo)* leader du marché, ou Ordimemo, vendent des ordinateurs avec reconnaissance vocale pour dicter les courriels,

ORDISSIMO

clavier et interface simplifiés et écran tactile. Elles proposent également une installation du matériel ou des cours d'informatique à domicile, une assistance à distance, etc. Même choc de simplification dans le domaine des téléphones dont l'un des fabricants stars, Doro, a créé un smartphone avec coaching intégré. **S. C.**

Audika
Restez connecté

"L'audition, c'est important.
Faites comme moi, allez chez Audika"

Anny Duperey

L'audition, un capital à préserver

"Comme pour la vue, sentir une baisse d'audition est le plus souvent le résultat d'un phénomène d'usure naturelle du système auditif nommé **presbyacousie** qui nous touche tous avec le temps. Dès 50 ans, c'est **une personne sur trois** qui éprouve cette gêne.

L'ouïe est l'un des **sens essentiels pour la communication**. Son altération complique les relations avec l'entourage. Petit à petit, on risque de se sentir isolé et de se couper des autres. **Heureusement, il est très facile** de s'en occuper : il faut tout d'abord faire un **bilan auditif** (1) pour savoir où vous en êtes.

En fonction de vos besoins, les spécialistes Audika vous proposeront des solutions, invisibles(3) et efficaces dont la technologie numérique permet d'offrir une **qualité d'écoute exceptionnelle**.

N'attendez pas pour découvrir la toute nouvelle génération d'aides auditives CONNECT 2, **le son le plus pur jamais restitué*. C'est LA véritable solution qui associe performance, esthétique et confort**. Réglée **sur-mesure par les spécialistes Audika**, elle **s'adapte automatiquement à tous les environnements sonores** même les plus bruyants.

Allez vite l'essayer(2), c'est gratuit et sans engagement."

Anny Duperey

N°Vert 0 800 00 16 33
APPEL GRATUIT DEPUIS UN POSTE FIXE

www.audika.com

Pour profiter de ces offres exceptionnelles

Retournez ce coupon sans l'affranchir dans une enveloppe libre à l'adresse suivante :
AUDIKA, LIBRE RÉPONSE, 93152 - 92239 GENNEVILLIERS CEDEX

☐ **oui** Je souhaite **PRENDRE RENDEZ-VOUS** et profiter de ces nouvelles offres

Nom : .....Prénom : .....
Adresse : .....
Code postal : ..... Ville : .....
Tél. : ..... E-mail : .....
Date de naissance : .....

Bilan auditif(1)
+
Essai gratuit(2) CHEZ VOUS

Code : P15SV1

* Par Audika (1) Bilan non médical (2) Valable sur prescription médicale uniquement. Voir conditions en centre. (3) Dans la limite des possibilités d'appareillage. Conformément à la loi Informatique et Liberté du 06/01/1978, vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et d'opposition aux données vous concernant. Ne pas jeter sur la voie publique- 01/2015 - AUDIKA RCS Paris B 310 612 387.

▶▶▶ daï qui a exhumé ses jeux d'arcades pour en tester les bienfaits sur des Japonais de 75 à 85 ans, invités à se dépenser en jouant à des jeux « physiques » comme le tape-taupe (où il faut assommer les taupes !).

Bien convaincus que l'activité stimule la mémoire, des chercheurs de l'université sud-coréenne Hoseo ont, de leur côté, mis au point un jeu vidéo destiné aux plus de 75 ans, qui a été testé dans un foyer du troisième âge de Valenciennes (Nord). Le but : faire des courses virtuelles au marché avec une liste de produits imposés à retenir. Pour se déplacer en évitant les obstacles, le senior doit effectuer une série de mouvements détectés par une caméra interactive.

Parce que bien vieillir rime aussi avec bon moral et sociabilité, Lab'Orange et l'Université de Grenoble planchent, quant à eux, sur une technologie d'analyse de notre activité... téléphonique. L'idée : mettre en évidence, grâce aux données recueillies, l'évolution de notre état général. Comment ? « *En communiquant régulièrement à l'utilisateur un score dont la variation révélerait un changement de l'état général* », résume Hervé Provost, qui pilote ce projet de « *garde-fou personnel* ».

S'appuyant sur une série d'algorithmes analysant le flux des conversations (fréquence des silences, temps de parole) mais aussi la façon d'utiliser le téléphone (nombre de sonneries avant de décrocher, de contacts différents, de bornes de téléphonie mobile activées, heure du premier appel...), l'équipe veut montrer la corrélation entre ces éléments et l'état de forme des volontaires de l'étude. Les premiers résultats sont « *très encourageants* » mais la technologie ne sera pas opérationnelle avant trois à cinq ans. ■ **Chloé Belleret**

DMLA, surdité, Parkinson...

Les chercheurs s'efforcent de mettre au point les traitements qui permettront de guérir ou de mieux vivre avec une maladie liée au vieillissement. Focus sur les avancées les plus prometteuses.

La DMLA « sèche » dans le viseur

Enfin un médicament efficace ? Capables de réduire de 20 % la progression des lésions causées par la forme « sèche » et avancée de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) — plus courante que sa forme « *humide* » et jusqu'ici sans traitement —, les injections de Lampalizumab « *constituent un nouvel espoir* », soutient le Dr Jean-François Girmens, ophtalmologiste à l'hôpital des Quinze-Vingts à Paris. Tout juste entré en phase III de tests dans 24 pays, cet inhibiteur d'une partie du complément (ensemble de protéines agissant sur notre réponse immunitaire), ne devrait toutefois pas être vendu avant 2017, prévient le laboratoire Roche. Par ailleurs, la piste de la greffe de cellules rétiniennes dérivées de cellules souches embryonnaires humaines semble se confirmer. Publiés en octobre dernier dans *The Lancet*, les derniers résultats d'une étude américaine dirigée par le Pr. Robert Lanza de la firme Advanced Cell Technology, montrent en effet une amélioration globale de la vision des patients greffés atteints de DMLA, et ce sans apparition d'effets indésirables irréversibles au bout de 22 mois.

Un remède à la surdité

En attendant la mise au point de thérapies géniques et cellulaires, envisagées dans un délai de 15 à 20 ans, l'implant cochléaire constitue l'une des solutions d'avenir pour traiter la surdité sévère des personnes âgées, selon le professeur Bruno Frachet. « *Hélas, il leur est encore trop peu proposé !* », déplore le président de la fondation Agir pour l'Audition. En cause, le coût élevé (plus de 25 000 €) de cette prothèse intégralement remboursée par la Sécurité sociale, qui convertit les sons en signaux électriques pour les transmettre au nerf auditif. « *Pourtant*, ajoute Bruno Frachet, *c'est un très mauvais calcul car on sait que le cerveau d'un individu de 70 ans ayant une perte d'audition de 25 décibels est équivalent en termes de performances à celui d'une personne de 77 ans. Or, en retardant ainsi la dépendance, on ferait de grosses économies.* »

Freiner Parkinson

Une nouvelle molécule pour freiner l'évolution de la maladie de Parkinson ? De récents travaux des chercheurs du CHRU de Lille et de l'université de Lille ont mis en évidence l'action bénéfique de la déféripone sur les malades de Parkinson au terme d'une étude de 5 ans réalisée sur 40 patients et dévoilée en 2014. « *C'est une première mondiale* », assure le Dr David Devos, qui coordonne les recherches sur cet agent chélateur, capable de fixer et de « redistribuer » l'excès de fer présent dans la substance noire du cerveau (et responsable en partie de

ÉQUIPEMENTS

Des aides toujours plus adaptées

Vision, audition, mobilité... Aucun domaine n'est laissé de côté pour nous aider à mieux apprivoiser le handicap. Revue de détail de ces accessoires innovants.

Des aides auditives pilotées par smartphone

Elles s'appellent ReSound LINX (GN Hearing - *photo ci-dessous*) ou Halo (Starkey), s'adaptent aux milieux bruyants et peuvent se piloter discrètement depuis un smartphone grâce à leur application permettant de régler le volume ou encore (uniquement avec iOS) de « géomarquer » des lieux (cinéma, supermarché, moyen de transport...) en leur associant des profils d'écoute. Compatibles avec Apple, ces aides auditives 2.0 permettent de recevoir directement le son d'une conversation téléphonique sur iPhone ou d'un film visionné sur iPad. Cerise sur le gâteau, les ReSound LINX sont aussi géolocalisables en cas de perte.

Mieux voir grâce à la réalité augmentée

Optimiser la vision résiduelle des patients atteints de DMLA, de rétinite pigmentaire ou encore de glaucome, voilà l'objectif des lunettes révolutionnaires mises au point par Essilor et l'Institut de la vision. Une fois captée par une minicaméra fixée dans une des branches, l'image est traitée sur un boîtier portatif puis renvoyée dans le système embarqué qui la projette alors sur la rétine grâce à un guide d'onde optique intégré aux verres. L'utilisateur peut ainsi compenser son handicap en zoomant ou contrastant l'image capturée. Munis de verres correcteurs, les premiers prototypes sont testés depuis 2013 par des salariés d'ERDF.

Un exosquelette français intuitif

Remarcher comme avant... ce rêve va-t-il bientôt se réaliser pour les personnes à mobilité réduite ? Conçues par la start-up française Wandercraft, ces jambes-robots permettent d'adopter une démarche dynamique et quasi-naturelle grâce à un algorithme très innovant qui les rend capables de supporter des phases d'instabilité sans béquilles. Contrairement au modèle HAL du japonais Honda — déjà en service — qui interprète les signaux du cerveau, ce prototype fonctionne par simple inclinaison du buste, comme un gyropode (sorte de trottinette électrique). Facile à enfiler, il offre un jour d'autonomie. Il pourrait équiper les centres de soins à partir de 2016 et être vendu 30 000 € au public dès 2018.

La canne biométrique et son GPS

Développée par le japonais Fujitsu, cette canne de nouvelle génération est équipée de capteurs électroniques recueillant des données de santé (température, rythme cardiaque, etc.). Grâce au Bluetooth et au wi-fi, elle peut, en cas d'anomalie, envoyer un e-mail aux services d'urgence ou à un proche. Son GPS embarqué et son écran LCD situé sur le haut de sa poignée permettent à son propriétaire d'être géolocalisé à tout instant, et surtout d'être guidé dans ses déplacements. Elle indique à l'utilisateur un endroit où se reposer dès les premiers signes de fatigue, et vibre si un changement de direction s'impose.

la mort des neurones), et d' éviter l'anémie. Grâce à cette molécule, « *on pourrait gagner 10 points sur 10 ans* [ndlr : sur l'échelle d'évaluation du handicap parkinsonien totalisant 108 points] », estime le neuropharmacologue. L'étude doit maintenant se poursuivre dans huit pays européens. Si elle se révèle concluante, une mise sur le marché de cette molécule pourrait intervenir dans un délai de huit ans.

Un jeu vidéo pour détecter Alzheimer

« *En 15 ans, on a énormément progressé dans la connaissance de la maladie, mais en matière de traitement, la recherche piétine* », reconnaît Olivier de Ladoucette, président de la Fondation pour la recherche Alzheimer. En revanche, du côté des outils de diagnostic, les choses bougent. Et vite. Testé au CHU de Nice, X-Torp, un jeu vidéo de bataille navale, pourrait arriver dans les cabinets de consultation dès cette année. Destiné à détecter les troubles cognitifs légers inhérents à la maladie, « *il donne des résultats proches de ceux obtenus avec des tests classiques* », assure le Pr Philippe Robert qui pilote son développement en partenariat avec la start-up Genious. Ludique et « *moins effrayant* », il a pour objectif de dédramatiser le test. ■

Chloé Belleret

La bataille de la mobilité

Aides à la conduite, voiture autonome, Vélib' à assistance électrique, autopartage... Autant de moyens utilisés pour lutter contre l'isolement des seniors et retarder la perte d'autonomie.

Rester plus longtemps à domicile, c'est aussi pouvoir en sortir. « *Pourtant, on fait comme si une personne âgée ne bougeait pas de chez elle, c'est absurde !* », s'agace Claude Dumas, le directeur général du Centre de ressources et d'innovation mobilité handicap. Un avis partagé par Florence Gilbert, du Laboratoire de mobilité inclusive. Pour elle, il est urgent de changer de culture : « *Il faut penser la société d'abord pour les plus fragiles* ». Se mettre dans la peau des aînés, c'est justement ce que le constructeur Nissan demande à ses designers, affublés de combinaisons vieillissantes pour concevoir tous les modèles. Une initiative bienvenue lorsque l'on sait que la voiture est l'un des derniers remparts contre la perte d'autonomie. « *Même s'ils se gardent bien de le formuler, tous les constructeurs ont des modèles, souvent haut de gamme, qui conviennent aux seniors* », constate Jean-Charles Sarbach, directeur technique de la Fédération des équipementiers automobiles. Parmi les dernières innovations (disponibles en série) susceptibles de prolonger la conduite des aînés : le système anti-somnolence détectant les franchissements de lignes blanches, les phares intelligents s'adaptant à la luminosité ambiante et la caméra de recul évitant de se contorsionner en marche-arrière. En pointe aussi, la voiture qui se gare toute seule, le régulateur de vitesse observant une distance de sécurité, le freinage d'urgence en présence de piétons (et bientôt peut-être, en cas de malaise, grâce au siège intelligent de Ford). De leur côté, portières à glissière et siège conducteur pivotant électrique ont rendu plus aisé l'accès au véhicule.

COURTESY F. GILBERT

« Il faut développer des solutions pour que la fin de la conduite ne soit plus une petite mort »

Florence Gilbert, membre du Laboratoire de mobilité inclusive.

Les transports en commun restent inadaptés

Pour autant, adapter sa voiture au handicap est « *hors de prix pour un senior* », fait valoir Claude Dumas qui déplore le manque de financement des aides à la mobilité pour les plus de 60 ans. La voiture autonome constitue le grand espoir. Testée dès cette année sur les routes de France, elle ne devrait toutefois pas arriver sur le marché hexagonal avant plusieurs années (Nissan l'a annoncée pour 2020). D'ici là, « *il faut développer des solutions alternatives pour que la fin de la conduite ne soit plus* ▶▶▶

LOISIRS

Voyager plus longtemps

Plus de temps, plus d'argent... C'est bien connu, les anciens *baby boomers* sont de grands bourlingueurs qui n'hésitent pas à flamber leur retraite en « rando », croisières et « thalasso ». Ce que l'on sait moins, c'est que les seniors en perte d'autonomie ont eux aussi à leur disposition des solutions pour prendre le large. Que ce soit pour une simple sortie d'une journée (Loisir d'Âge) ou pour un séjour d'une semaine ou plus, il y en a pour tous les goûts. Adaptées en termes de rythme de vie, de moyens de transport, de conditions d'hébergement voire de soins, ces vacances organisées spécifiquement pour le troisième âge sont en plein essor, mais restent chères — à l'exception des séjours en gîtes et centres de vacances proposés par les associations ANCV (chèques vacances) et Petits Frères des Pauvres.

« *Il existe aujourd'hui une myriade d'initiatives proposant des séjours adaptés aux personnes âgées* », confirme Annie de Vivie, fondatrice du site internet ÂgeVillage à l'usage des seniors. Parmi les plus intéressantes, citons l'hébergement temporaire en Ehpad (établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes) dans un lieu touristique, ou encore l'échange de pensionnaires entre établissements et, enfin, pour le bien-être de toute la famille (y compris les générations plus jeunes), les séjours aidants-aidés : Séjours Vacances Répit, de France Alzheimer, et désormais le Village Répit Familles, premier du genre, qui s'est ouvert en 2014 en Touraine. À mi-chemin entre village de vacances et Ehpad, ce dernier permet à chacun de vivre à son rythme et de partager ou non des activités collectives. En ce qui concerne le transport, voyager seul n'est plus un obstacle : gares et aéroports disposent d'un service d'assistance aux personnes âgées ou à mobilité réduite et la SNCF propose l'accompagnement domicile-train (et inversement) réservable par téléphone, avec prise en charge des bagages. **C. B.**

NOUVEAU Pour prothèses partielles & totales

Fixodent Pro 0%. Une sensation incroyablement naturelle !

7 porteurs de prothèse dentaire sur 10 recherchent une crème adhésive naturelle, sans arrière-goût désagréable.

La nouvelle crème adhésive Fixodent Pro 0%.
0% d'arôme, 0% de colorant, sans zinc ajouté.
La sensation d'une bouche incroyablement naturelle.

1

Une application plus précise : l'embout très fin et précis permet une application nette et continue. Ainsi, vos gencives et votre prothèse dentaire ne font plus qu'un.

2

Lutte contre l'irritation des gencives : pour un confort optimal grâce à une meilleure tenue de la prothèse, et un maintien efficace tout au long de la journée. Réduit les mouvements de la prothèse et évite d'avoir les gencives irritées.

Fixodent.
Et la vie a du mordant.

Les adhésifs dentaires Fixodent Pro pour prothèses dentaires sont des dispositifs médicaux fabriqués par Procter & Gamble Technical Centres Ltd. Ces dispositifs médicaux sont des produits de santé réglementés et portent au titre de cette réglementation le marquage CE. Lire attentivement les notices et demander conseil à votre pharmacien. Date de création : novembre 2014.

VU D'AILLEURS

L'Allemagne et le Japon à l'avant-garde

KIMKYUNGHOON/REUTERS

Au centre commercial Aeon Kasai de Tokyo, tout est conçu pour bien accueillir les personnes âgées, depuis les rayons jusqu'aux parkings.

Allées plus larges, sols antidérapants, prix indiqués en gros, éclairage plus intense, caddies plus maniables, bouton d'appel à chaque rayon, appel gratuit de taxi... Rien n'a été laissé au hasard au Generation Markt de Berlin. Conçu pour faciliter et sécuriser les déplacements des personnes âgées, ce supermarché ouvert en 2007 par la chaîne allemande Kaiser n'est pas le seul à s'intéresser aux seniors : Home Depot — le Leroy-Merlin américain — a, par exemple, abaissé pour eux les étagères de son rayon jardinage. D'autres sont allés encore plus loin en orientant leur offre. C'est le cas de l'enseigne espagnole Tienda del Abuelo, spécialisée depuis 2002 dans la vente de produits et services pour les plus de 55 ans, mais aussi du leader japonais de la distribution Aeon. En 2012, ce dernier a créé un étage dédié avec escalators ralentis et espaces de repos omniprésents au sein du centre commercial Aeon Kasai de Tokyo. On y trouve mercerie, club culturel, salle de gym, pâtisserie pour animaux, prêt-à-porter « *confortable* » et même un regroupement de 13 cliniques. Cannes et déambulateurs sont exposés sans complexe au Darty local et les portions individuelles envahissent les rayons alimentaires, tandis que des « *personal shoppers* » aident à porter les courses jusqu'au parking. « *Au Japon, le concept du raku-raku (simple-simple) est roi : à la banque, par exemple, on trouve des repose-cannes et aux guichets postaux, des lunettes sont mises à disposition* », explique Ralph Hababou, auteur de *S comme SeniORs* (First, 2014), qui est persuadé qu'en France, le changement passera d'abord par les entreprises. **C. B.**

▶▶▶ *une petite mort* », insiste Florence Gilbert, qui dénonce le caractère inadapté des transports en commun. « *Tant qu'on ne formera pas les chauffeurs de bus à veiller à ne pas démarrer en trombe, installer des marchepieds automatiques ne servira à rien* ». Sa solution : le « *transport à la demande* ». En la matière, les expérimentations sont nombreuses : service de porte-à-porte gratuit ou à prix réduit mis en place par les collectivités territoriales ou par Senior Mobilité ; premier « *taxi adapté* » solidaire proposant des courses économiques prépayées (à Paris, Nice, Montpellier, etc.) ; mais aussi premières bornes de vélos à assistance électrique en libre-service installées à Vannes et première voiture électrique livrée à une résidence pour seniors de La Rochelle par Automobilité, un service inédit d'autopartage destiné aux maisons de retraites.

Rendre l'espace public plus accueillant pour les aînés

Enfin, une dizaine de villes f
çaises (Dijon, Lyon, Metz, Re
etc.), adhérentes du réseau « V
amies des aînés » lancé par l'O
s'attachent à repenser l'espace
public pour permettre aux seniors de se le réapproprier. « *Il y a tant à faire pour améliorer l'accessibilité...* *À commencer par remettre des toilettes et des bancs publics !* », lance Florence Gilbert. Reste que le quotidien des moins mobiles pourrait facilement être amélioré si certain gadgets plébiscités à l'étranger étaient adoptés en France comme le Firefly (conçu par l'américain Rio Mobility), sorte de moteur-guidon qui s'accroche au fauteuil roulant et le transforme en tricycle électrique, le Rollator, un déambulateur à roulettes doté d'un petit siège pliant, très prisé des Scandinaves et des Japonais, ou encore le scooter électrique à trois ou quatre roues (10 km/h) qui cartonne auprès des seniors britanniques. ■ **Chloé Belleret**

N
R PLUS

les informations sur les sociétés et les organismes cités dans ce dossier sur :
▶ http://sciav.fr/816Vieillir

11P1_SA230115.qxp_Mise en page 1 30/12/2014 08:50 Page1

Les dernières découvertes de la science minceur : Communiqué

11 PLANTES qui font MINCIR

Efficacité prouvée. Tout ceux qui les ont essayées ont minci.

Des nutritionnistes spécialistes de la médecine naturelle ont découvert 11 plantes qui, bien associées, modifient le stockage des calories et provoquent une perte de poids. Même en continuant à manger comme avant, les kilos superflus disparaissent. Découvrez ici de quelles plantes il s'agit et pourquoi elles entraînent une perte de poids.

CASSIS

QUESTION : ***Comment est-il possible que certaines plantes fassent mincir, même lorsque l'on continue de manger normalement ?***

PISSENLIT

RÉPONSE : Des études récentes ont montré que ces 11 plantes, qui sont entièrement naturelles et très bonnes pour la santé, si elles sont bien associées modifient l'assimilation des calories. Ces calories ne sont pas transformées en graisse, elles sont brûlées et éliminées de façon naturelle ou transformées en énergie. Ce mélange de plantes constitue la base d'un nouveau remède à base de plantes sous forme de sirop qui entraîne la perte des kilos superflus – avec peut-être le résultat le plus rapide jamais atteint par des méthodes naturelles.

QUESTION : ***A qui s'adresse cette méthode ?***

RÉPONSE : Cette méthode est destinée à toutes les femmes et à tous les hommes qui souffrent d'excès de poids (5 kg et plus), et qui ont déjà tout essayé sans obtenir de résultat durable.

BRUYÈRE

QUESTION : ***La perte de poids est-elle rapide ?***

RÉPONSE : Très rapide. Dès la première semaine, on peut constater une perte de poids pouvant aller jusqu'à 6 kg. En moyenne, la perte de poids est d'environ 3,5 kg par semaine pour les personnes qui ont plus de 10 kg à perdre.

QUESTION : ***Est-ce que cette méthode a quelque chose à voir avec la cure amincissante de cinq plantes dont la presse a déjà parlé et grâce à laquelle plus de 600'000 personnes ont perdu du poids dans toute l'Europe ?***

OLIVIER

RÉPONSE : Cette méthode contient effectivement ces cinq plantes qui ont entraîné une perte de poids chez exactement 637'524 personnes pendant les 12 derniers mois. Les scientifiques ont encore ajouté cinq plantes et une algue à cette nouvelle cure amincissante. Elle accélère presque deux fois plus la perte des kilos superflus. Cette nouvelle méthode contient donc 11 plantes qui entraînent une diminution de poids plus importante que celle jamais enregistrée avec l'utilisation d'un remède entièrement naturel qui ne présente aucun effet secondaire.

SPIRAEA ULMARIA (REINE DES PRÉS)

QUESTION : ***Comment ça marche ? Faut-il avoir beaucoup de volonté ?***

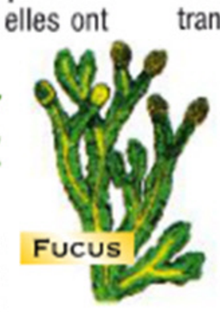
RÉPONSE : Il ne s'agit pas d'un régime. On peut continuer à manger normalement comme d'habitude. Vous avez le droit de manger des pâtes, des plats en sauce, du beurre, des gâteaux, etc. – bref, ce dont vous avez envie. Il suffit de diluer un bouchon et demi de sirop dans 1 litre d'eau et de boire ce liquide durant toute la journée. A la différence de la majorité des cures amincissantes et des régimes que vous avez peut-être déjà essayés, vous n'avez ici aucune restriction. Voilà pourquoi il n'y a quasiment pas de risque d'échec. Par ailleurs, cette méthode n'exige aucun effort ni volonté particulière, aucun régime ni exercices difficiles.

QUESTION : ***Et quelle assurance ai-je de conserver mon poids idéal une fois que je l'aurai atteint ?***

ORTIE

RÉPONSE : Vous avez peut-être eu l'occasion de constater que l'on reprend très vite les kilos que l'on a perdus. Cela tient au fait que le métabolisme ne se modifie pas. Or, avec cette méthode le métabolisme est entièrement modifié. Il n'y a donc plus à craindre de reprise de poids. Le principe d'élimination et de transformation des calories fonctionne de la même manière que chez les personnes qui mangent tout ce dont elles ont envie sans jamais grossir.

QUESTION : ***J'ai déjà tout essayé : régimes, comprimés, même des tisanes, et rien n'a fonctionné. Pourquoi devrait-il en être autrement ?***


FUCUS

RÉPONSE : Parce que ce processus d'élimination et de transformation des calories est naturel et qu'il transforme votre métabolisme de sorte que vous brûliez plus de calories que vous n'en ingérez. Parce que la majorité des femmes qui ont essayé cette méthode ont minci et qu'il n'y a donc aucune raison que cela ne marche pas avec vous. Et finalement, parce que nous sommes tellement sûrs de notre affaire que vous avez l'assurance d'être «remboursé si vous n'êtes pas satisfait» : vous recevez une cure amincissante complète, sans être obligé de vous décider à acheter tout de suite.

QUESTION : ***J'ai plus de 20 kg à perdre. Est-ce que cette cure amincissante est aussi pour moi ?***

RÉPONSE : Que vous ayez 5, 10, 15 même 20 kg (ou plus) à perdre, le sirop aux 11 plantes vous permettra d'atteindre votre poids idéal et d'avoir une silhouette harmonieuse et belle… tout en retrouvant la joie de vivre. Sinon vous n'aurez rien à payer.

QUESTION : ***Existe-t-il vraiment des preuves que cette méthode est vraiment si efficace ?***

VIGNE ROUGE

RÉPONSE : Toutes les personnes qui l'ont utilisée ont minci. Souvent même d'une façon spectaculaire.

QUESTION : ***J'ai lu dans un reportage que ces plantes faisaient non seulement mincir mais qu'elles avaient aussi un impact positif sur notre santé. Est-ce vrai ?***

RÉPONSE : Oui. Ces 11 plantes ont été découvertes par des nutritionnistes au cours du développement de procédés plus sains d'élimination de toxines et d'autres produits toxiques qui se trouvent dans les produits alimentaires actuels. Donc si l'on prend ce sirop aux extraits de 11 plantes, non seulement on minciera mais on éliminera aussi efficacement les produits toxiques de l'organisme.

QUESTION : ***Comment puis-je accéder rapidement et sans engagement de ma part à cette méthode ?***

THÉ VERT

RÉPONSE : Vous pouvez tester cette cure amincissante durant les 3 prochaines semaines, sans avoir à débourser un centime. Elle sera en vente en pharmacie dès l'hiver prochain.

VOICI LES PREUVES DE L'EFFICACITÉ DES 11 PLANTES QUI FONT MINCIR

Extraits* de lettres que nous avons reçues :

J'avais tout essayé.

«J'ai perdu 16 kg. J'ai souffert toute ma vie d'obésité. J'ai tout essayé pour perdre du poids. La cure amincissante aux 11 plantes est la seule qui a marché. J'ai l'impression d'être quelqu'un d'autre. Mon mari a aussi perdu 10 kg et nous avons retrouvé une joie de vivre que nous ne connaissions plus.» *Silvia P.*

Durant 15 ans, j'ai fait des régimes, sans succès.

«J'en avais assez et j'étais désespérée jusqu'à ce que je découvre la cure amincissante miracle aux 11 plantes. J'ai perdu très facilement et durablement tous mes kilos superflus, exactement là où je devais les perdre. J'ai de nouveau la silhouette idéale que j'avais à 20 ans.» *Nadja O.*

J'ai perdu 28 kilos

«Depuis que j'ai perdu 28 kilos, ma vie s'est transformée grâce à la cure amincissante aux 11 plantes. J'étais très fière lorsque mon mari m'a demandé de poser pour une photo dans mon nouveau maillot de bain. J'ai le sentiment d'être maintenant à l'abri d'une nouvelle prise de poids et de l'effet yoyo. Mon poids s'est stabilisé depuis plus d'un an, je suis restée à 63 kg. Je suis fière de ma silhouette et de moi-même.» *Cécile L.*

GRIOTTE

Veuillez lire ce qui suit si vous avez décidé de ne pas profiter de cette offre :

FENOUIL

1 La formule qui marche s'appelle la cure amincissante aux 11 plantes ! Le succès d'un régime tient au fait de ne pas souffrir de la faim. Avec la cure amincissante aux 11 plantes, c'est maintenant possible. Vous mincissez tout en vous délectant. Il n'existe pas de moyen plus facile d'atteindre votre poids idéal.

2 Vous pouvez manger presque tout ce dont vous avez envie. Il suffit de diluer un bouchon et demi de sirop dans 1 litre d'eau et de boire ce liquide durant toute la journée. Car il brûle les graisses superflues et fait mincir.

3 Vous avez maintenant la possibilité d'arriver à votre silhouette idéale et de changer entièrement votre vie sans grandes restrictions. Tous ceux qui ont essayé la cure amincissante aux 11 plantes ont minci.

4 Nous avons effectué un test sur 20 personnes. Toutes, sans exception, ont perdu exactement les kilos qu'elles voulaient perdre. C'est la preuve que la cure amincissante aux 11 plantes fait réellement mincir.

VOUS POUVEZ VOUS AUSSI ATTEINDRE VOTRE POIDS IDÉAL, FAITES LA PREUVE PAR L'EXEMPLE. VOUS N'EN REVIENDREZ PAS.

Une cure Gratuite en prime
à l'achat d'une cure intensive ou radicale

0800 11 7777 - VEDIASHOP.fr
APPEL GRATUIT

☑ **Commande lecteur : Elixir Minceur 11 plantes**

A retourner à : **VEDIA - 1 av. du général De Gaulle 60500 Chantilly**

		Qté.	Prix	Sous-Total
☐ 480461	Cure **Normale** (3 à 5 kg)		29,95 €	
☐ 480462	Cure **Intensive** (5 à 10 kg) ~~59,90 €~~		49,95 €	
☐ 480463	Cure **Radicale** (+ de 10 kg) ~~89,90 €~~		69,95 €	
☐	**Recevez en plus 1 semaine de cure GRATUITE** Cochez pour toute commande d'une cure intensive ou radicale		~~29,95 €~~	0 €
☐	**Traitement prioritaire et livraison rapide, j'ajoute :**			3,00 €
☑	Contribution unique aux frais d'expédition et d'emballage			7,95 €

Offre valable en France Métropolitaine
PL49021001

Pour éviter toute erreur merci d'écrire lisiblement **TOTAL**

☐ **Chèque** à l'ordre de VEDIA **Carte :** ☐ VISA ☐ MasterCard

N° | | | | |

Signature obligatoire :

☐ M. ☐ Mme ☐ Mlle Expire le | | |

Nom _____ Prénom _____

Adresse _____

C.P. _____ Ville _____

E-mail _____ @ _____

Tél _____ Né(e) le | | | | | | |

Vedia Direct SL - CIF: B65916809 - *Identité modifiée afin de préserver l'anonymat.

*Conformément à la loi informatique et Libertés n°78.17 du 16 janvier 1978 - Art 27, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en écrivant. Sauf refus de votre part, ces informations pourront être communiquées et utilisées par des tiers". Vous bénéficiez d'un droit de rétractation de 7 jours à réception de la commande.

Trouver des compléments de revenus

Il ne faudra pas compter uniquement sur la solidarité pour financer les besoins croissants liés au vieillissement. Des produits existent pour doper ses revenus à long terme.

RÉA

Le viager new look

Le viager immobilier connaît un succès pour le moins mitigé : environ 4 000 ventes sur 720 000 transactions immobilières en 2014. La formule, qui lie la disponibilité du logement à la mort de son occupant, n'a pas bonne réputation... Mais de nouvelles offres, moins aléatoires, ont vu le jour. Elles permettent aux personnes âgées (72 % sont propriétaires) de retirer des revenus du logement qu'elles occupent, et aux acquéreurs de prendre moins de risques (ils sont mutualisés). C'est le cas du fonds Certivia, lancé en septembre dernier, par la Caisse des dépôts. Doté de 120 millions d'euros, il va investir dans 400 logements qu'il gérera dans le respect de règles déontologiques très strictes. Rendement attendu : 6 % annuel.

Vieillir mieux va coûter plus cher. C'est évidemment le sérieux bémol qu'il faut apporter à notre dossier. Les retraités ont sans doute déjà intégré ce facteur, puisqu'ils épargnent en moyenne jusqu'à 30 % de plus que le reste de la population... Nombre d'entre eux se trouveront en tout cas confrontés à des difficultés matérielles auxquelles il est possible d'apporter des réponses. Dans cette période de baisse des taux et de fiscalité élevée, plus question de se contenter des produits traditionnels à taux fixe, comme les plans et les livrets d'épargne, les contrats d'assurance vie classiques, dits « en euros » et tous les produits sans risque. « *Cela reviendrait à laisser le capital s'éroder* », confirme Hervé de La Tour d'Artaise, conseil en gestion de patrimoine du cabinet A2PF. Évidemment, tous les assureurs proposent des assurances dépendance. Annexées à leurs contrats traditionnels, elles permettent de faire face aux gros pépins de santé. Mais pour s'assurer des revenus complémentaires à mesure qu'on avance en âge, il faut aller chercher ailleurs. Par exemple du côté d'assureurs comme Allianz, la Mondiale et Axa, qui proposent depuis peu des « *variable annuities* ». Ces produits combinent un contrat d'assurance vie classique qui sert un rendement équivalent aux contrats en euros, et une rente issue du surplus d'intérêts générés par ce placement diversifié (et donc aussi plus risqué). Le montant annuel perçu après 65 ans représentera environ 4 % des versements effectués. Depuis quelques mois, les assureurs proposent une autre solution : l'eurocroissance. L'épargne est garantie, mais seulement au terme de huit ans. Entretemps, l'assureur en investira une partie sur des placements plus offensifs, qui généreront un surcroît de performance. De combien ? Les premiers assureurs à en avoir lancé (Prédica-Crédit Agricole-LCL, Suravenir, Afer et Generali) tablent sur une surperformance annuelle 0,5 à 2 points par rapport aux contrats traditionnels. ■ **Éric Tréguier**

IMMOBILIER

La solution de la « pierre papier »

Etre propriétaire bailleur d'un logement a longtemps assuré, sans trop de soucis, un complément de revenu stable. Mais la réglementation et la fiscalité sont passées par là : gérer un logement aujourd'hui est devenu un vrai casse-tête, et n'offre plus qu'une faible rentabilité. Dans ce contexte, l'immobilier « papier » — autrement dit, les SCPI (sociétés civiles de placement immobilier) — peut être une solution. Ces SCPI investissent l'argent collecté dans des immeubles loués puis reversent les loyers à leurs souscripteurs, et connaissent un succès croissant. Leurs atouts : un bon rendement financier (plus de 5 % en 2013), des risques maîtrisés et une absence de soucis pour les propriétaires. S'y ajoute la possibilité d'investir à son rythme, sur des petits montants et même... à crédit. Attention toutefois à bien choisir sa société de gestion. Il en existe une cinquantaine, aux performances assez inégales. En général, les moins bonnes sont des filiales de grandes banques... Les meilleures sont des gestionnaires indépendants (Ciloger, Corum, La Française, Périal, Primonial, Sofidy...), qui ont pour seul argument la qualité de leurs produits. **É. T.**

Fini les risques de chutes !

Kinemagic

LA référence en remplacement de baignoire par une **douche**

montage en 1 JOUR

"Belle, accessible et sécurisée !"

à partir de **2950 €*** TTC - Pose comprise
Crédit d'impôt 25%

*modèle Essentiel 2950 € sans accessoires, modèle présenté Sérénité 4490 €.
Ces prix s'entendent avec enlèvement de la baignoire et pose du Kinemagic.

FABRICATION FRANÇAISE

Kinedo FRANCE

Demandez-nous un
DEVIS GRATUIT

Plus d'informations au :

N°Vert 0 800 857 858
APPEL GRATUIT DEPUIS UN POSTE FIXE

ou sur **www.KINEMAGIC.fr**

OUI, je souhaite être contacté pour obtenir un devis personnalisé gratuit.

Coupon à renvoyer à : KINEDO - 9 route de Rouans - site industriel n°1 44680 CHÉMÉRÉ

Nom : ..... Prénom : .....
Adresse : .....
.....
CP : ..... Ville : .....
Téléphone : ..... Email :.....

Sciences & Avenir

CONTEXTE. La société de production de films Sony Pictures a été victime d'un piratage massif de ses données revendiqué par un groupe inconnu, les Guardians of Peace, pour protester contre la sortie du film « L'Interview ».

Qui a piraté Sony ?

HACKING *« Nous avons obtenu toutes vos données internes incluant "secrets et top secrets". Si vous n'obéissez pas, nous communiquerons ces données au monde. »* C'est avec ce message apparu sur leur écran d'ordinateur le 25 novembre que le personnel de Sony Pictures Entertainment a compris que leur système informatique avait été piraté. Au total, l'équivalent de 100 disques durs de données (100 téraoctets) aurait été subtilisé. Le FBI, l'agence fédérale de sécurité américaine, a aussitôt désigné la Corée du Nord comme le responsable de l'attaque. Elle se fonde sur l'étude du « virus », composé notamment d'un module destiné à « exfiltrer » les données et d'un second prévu pour les effacer sur les disques durs des employés. Le FBI aurait repéré des similarités entre certaines lignes de code et algorithmes de cryptage présents dans ce « virus » et celles retrouvées dans d'autres virus utilisés par le passé par la Corée du Nord

BUSINESS2COMMUNITY

Le message des pirates apparu sur les ordinateurs du réseau de Sony Pictures.

CONTEXTE. L'Agence de sécurité sanitaire met en garde contre l'usage de traitements antiparasitaires, insecticides ou acaricides (contre les acariens), destinés aux animaux de compagnie chez les humains et surtout les enfants.

Les produits vétérinaires sont-ils efficaces contre les poux chez l'homme ?

PARASITOLOGIE Des pharmaciens ont informé l'Agence régionale de santé de Midi-Pyrénées que certains de leurs clients faisaient usage sur l'homme de produits vétérinaires contre les poux. Une pratique condamnée par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) le 15 décembre. Pourquoi ne faut-il pas utiliser les produits vétérinaires sur les humains ? Les médicaments vétérinaires ont obtenu une autorisation de mise sur le marché (AMM) délivrée en fonction d'une évaluation bénéfice/risque pour une espèce animale précise. Or, *« les études toxicologiques et cliniques qui fondent cette évaluation ne prennent en compte que la physiologie et les problèmes pathologiques de l'espèce animale concernée »*, explique l'Anses. Ces études ne permettent donc pas de valider l'utilisation thérapeutique sans risque chez l'homme, *a fortiori* chez l'enfant. Le seul risque évalué pour l'homme est lié à la manipulation

pour attaquer des systèmes informatiques de la Corée du Sud. Une information qu'Éric Filiol, directeur de recherche en virologie à l'École supérieure d'informatique, électronique, automatique (ESIEA) accueille avec prudence : « *Rien n'empêche les pirates d'imiter un code déjà connu pour faire "porter le chapeau" à un tiers.* » Un avis que partage Gérôme Billois, expert en cybersécurité pour le cabinet Solucom : « *Le code de ces attaques peut être retrouvé facilement sur Internet, adapté et réutilisé sans difficulté.* »

Le réseau de la firme américaine était mal protégé

Une certitude cependant : l'attaque révèle le faible niveau de sécurité du réseau de la firme américaine. « *Le réseau n'était pas correctement cloisonné*, commente Jérôme Notin, président de Nov'IT, à la tête du consortium pour la conception de l'antivirus français Davfi. *Les ordinateurs du service ressources humaines n'auraient dû avoir aucun accès au réseau qui héberge les films.* » « *Mais une fois dans le réseau, la propagation de ce code malveillant doit être freinée par le plus de barrières possibles pour protéger l'accès aux données sensibles : cryptages d'e-mails, multiplication d'accès par mot de passe, etc.*, confirme Éric Leblond, président de Stamus Networks, spécialiste des réseaux informatiques. *Cela permet de gagner du temps pour le détecter et l'éliminer avant qu'il ne soit trop tard.* »

Quant à l'hypothèse d'une aide aux hackers venant de l'intérieur, « *elle ne peut être écartée. Mais elle n'est pas indispensable tant il est facile de pénétrer un système informatique d'entreprise, par exemple avec des e-mails piégés* », précise Gérôme Billois.

Plus étonnant : comment Sony n'a pas remarqué le vol d'une telle masse de données probablement réalisé entre février et novembre ? « *Il existe des outils de métrologie qui détectent toute activité anormale et font des corrélations entre des événements suspects* », affirme Jérôme Notin. Mais Sony ne serait pas une exception. Selon le FBI, 90 % des entreprises américaines n'auraient pas résisté à une telle attaque. ■

Olivier Hertel
@OlivierHertel

---

du produit. De même, les insecticides ou acaricides destinés à l'homme sont soumis à une AMM délivrée à l'issue d'études toxicologiques et cliniques distinctes de celles menées pour la délivrance des AMM vétérinaires.

Concernant les poux, utiliser les produits vétérinaires est d'autant plus déconseillé que, contrairement à une idée reçue, ce sont ceux à destination des humains qui sont les plus efficaces. Parasitologue à l'université François-Rabelais, à Tours, Catherine Combescot invite les parents à privilégier les produits « enrobants » qui traitent en une seule application poux et lentes, en les enveloppant d'une substance qui les prive de leurs fonctions vitales (*lire* S. et A. *n° 775, septembre 2011*). Elle déconseille les produits dont l'application doit être renouvelée une semaine ou dix jours plus tard, car ils n'éradiquent pas les lentes et font courir le risque d'une recontamination par de nouveaux poux issus de l'éclosion des lentes. L'autre avantage des produits enrobants est qu'ils n'entraînent pas le développement de résistances chez les poux, contrairement aux produits à base d'insecticides neurotoxiques, comme les pyréthrinoïdes ou le malathion. ■

Lise Loumé
@LysLoume

Le clip du chanteur sud-coréen Psy sur YouTube.

LE CHIFFRE DU MOIS

32 bits

Le 1er décembre dernier, YouTube publiait sur le réseau social Google + (Google étant la maison mère de la plate-forme de partage de vidéos) une étonnante nouvelle. Le vidéo-clip du chanteur sud-coréen Psy, *Gangnam style* — succès fulgurant sur Internet depuis son apparition en juillet 2012 en devenant la vidéo la plus vue sur le site — aurait « cassé » le compteur qui affiche le nombre de visionnages, en bas à droite de l'écran. Elle a en effet dépassé le nombre maximum prévu au départ par la plate-forme, soit plus de 2,1 milliards de visionnages, que les concepteurs du site ne pensaient pas voir franchi un jour. La raison de ce « bug » ? YouTube avait codé le compteur en « 32 bits signés », ce qui veut dire que le compteur était conçu pour afficher un nombre entier positif ou négatif (le « signé » renvoie au signe + ou -) représenté en binaire par 32 zéros et un. La fourchette théorique était comprise entre -2 147 483 648 et 2 147 483 647 (l'absence de symétrie exacte est due au 0). Concrètement, le nombre maximum était de 2 147 483 647 visionnages. Si le codage avait été « non signé », le plafond aurait été de 4 294 967 295, puisque les nombres négatifs n'auraient pas été prévus. En réalité, même si la vidéo a bel et bien franchi la barre de plus de 2,1 milliards de vues, elle n'a rien cassé du tout, les ingénieurs de YouTube ayant anticipé le problème : ils ont eu le temps de mettre à jour le compteur. Celui-ci a donc été codé en 64 bits signés. Le nombre de visionnages d'une même vidéo sur YouTube peut donc désormais atteindre… 9 223 372 036 854 775 808. ■ **Arnaud Devillard**

LES SCANNERS

Par Henri-Pierre Penel

Capture réussie

Scanners à plat, à films ou nomades... Ces accessoires de numérisation d'image se déclinent en plusieurs familles de produits. Pour quelles applications ?

Pourquoi acquérir un tel appareil ?

L'utilisation principale des scanners est la numérisation, dans de bonnes conditions, de clichés, diapositives ou films négatifs. En effet, si certaines imprimantes actuelles, dites multifonctions, disposent d'un scanner intégré, celui-ci sert surtout comme photocopieur mais n'est pas toujours adapté à la numérisation de tirages dans de bonnes conditions. Par ailleurs, les scanners permettent aussi de transférer sur ordinateur des documents, que l'on souhaite archiver ou pour disposer de doubles (passeport, permis de conduire...) en cas de perte. Certains permettent aussi de numériser des cartes de visite, des logiciels proposant ensuite de les intégrer directement dans le répertoire de contacts de l'utilisateur.

Quels sont les différents types ?

Il existe trois grandes familles : les scanners à plat, à diapositives (ou à films 35 mm) et les nomades. Les premiers, à poser sur un bureau, présentent une surface vitrée et sont essentiellement destinés à la numérisation de documents opaques (tirages photo, documents imprimés, etc.). Les deuxièmes, spécialisés pour ce type de support, se présentent sous la forme d'une boîte close. Il s'agit quasiment d'un appareil photo numérique associé à une plaque rétroéclairée. Enfin, les nomades sont voués à la numérisation de documents hors de chez soi, dans une bibliothèque par exemple. Autonomes, ils disposent d'une batterie interne et stockent les images numérisées sur une carte mémoire. Dans ce dernier cas, ce n'est pas la qualité de reproduction qui est recherchée, mais la possibilité de garder une trace des documents.

Quelle résolution retenir ?

De nombreux paramètres doivent être pris en compte, notamment la taille du document d'origine et l'usage qui sera fait du fichier numérique. Ainsi, pour une photo papier au format 10 x 15 cm que l'on souhaite réimprimer, une numérisation en 300 points par pouce (ppp) suffit. Si l'on souhaite un tirage au format 20 x 30 cm, la résolution sera de 600 ppp car le facteur d'agrandissement est de 2. En somme, pour conserver une cohérence entre numérisation et utilisation, il faut multiplier la résolution du tirage final par le facteur d'agrandissement. Ce facteur est plus important lors de la numérisation de diapositives ou de films 35 mm : 1250 ppp pour un tirage diapo en 10 x 15 ou 2500 ppp pour un tirage en 20 x 30 cm. À noter qu'une résolution de 1350 ppp est suffisante pour qu'un cliché soit vu sur un écran de téléviseur haute définition ou un moniteur d'ordinateur.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

Faut-il systématiquement opter pour la plus grande résolution ?

La tentation de numériser avec la résolution maximale du scanner est grande. Mais elle peut entraîner une taille de fichier gigantesque dès lors que le document d'origine est de dimension importante. Il faut donc bien anticiper ses besoins, tout en gardant une marge de résolution, notamment pour pouvoir recadrer l'image. Dans ce dernier cas, c'est la taille de la zone recadrée qui doit être prise en compte.

Qu'entend-on par la « profondeur des couleurs » ?

Ce terme précise le nombre de « bits » codant l'intensité de chaque couleur de base : plus cette profondeur est élevée, plus le nombre de teintes représentées est grand. La plupart des scanners codent l'ensemble des couleurs sur 24 bits, soit 8 bits par couleur fondamentale qui peut prendre ainsi 256 intensités différentes (28 combinaisons de bits). Le nombre total de teintes disponibles sera donc de près de 16 millions (256 x 256 x 256). Cette valeur, suffisante pour la plupart des usages, peut se révéler limitée pour restituer finement les dégradés les plus subtils. Certains équipements professionnels travaillent donc en 48 bits, soit 16 bits par couleur fondamentale, ce qui confère une palette de plus de 280 trillions de couleurs.

Sous quel format enregistrer le fichier ?

Le format (type d'encodage) retenu pour l'enregistrement du fichier final est déterminant. Celui-ci n'est pas lié au scanner mais aux logiciels qui le pilotent. Il est donc important de vérifier lesquels sont livrés avec l'appareil. Ainsi le JPEG, le plus employé, introduit des pertes d'informations. Parfait pour le simple archivage d'images, il n'est pas très adapté si des retouches doivent être apportées au document numérisé : des modifications de couleurs, contrastes ou luminosité peuvent faire apparaître des artefacts liés à la compression appliquée par le JPEG. Il est alors conseillé de stocker les images sous un format non compressé ou non destructif tel que le TIFF. Si le JPEG est le seul format de sauvegarde accessible, il faut alors sélectionner « qualité maximale » au moment de la numérisation, ce qui réduit l'impact de la compression sur l'image. ■

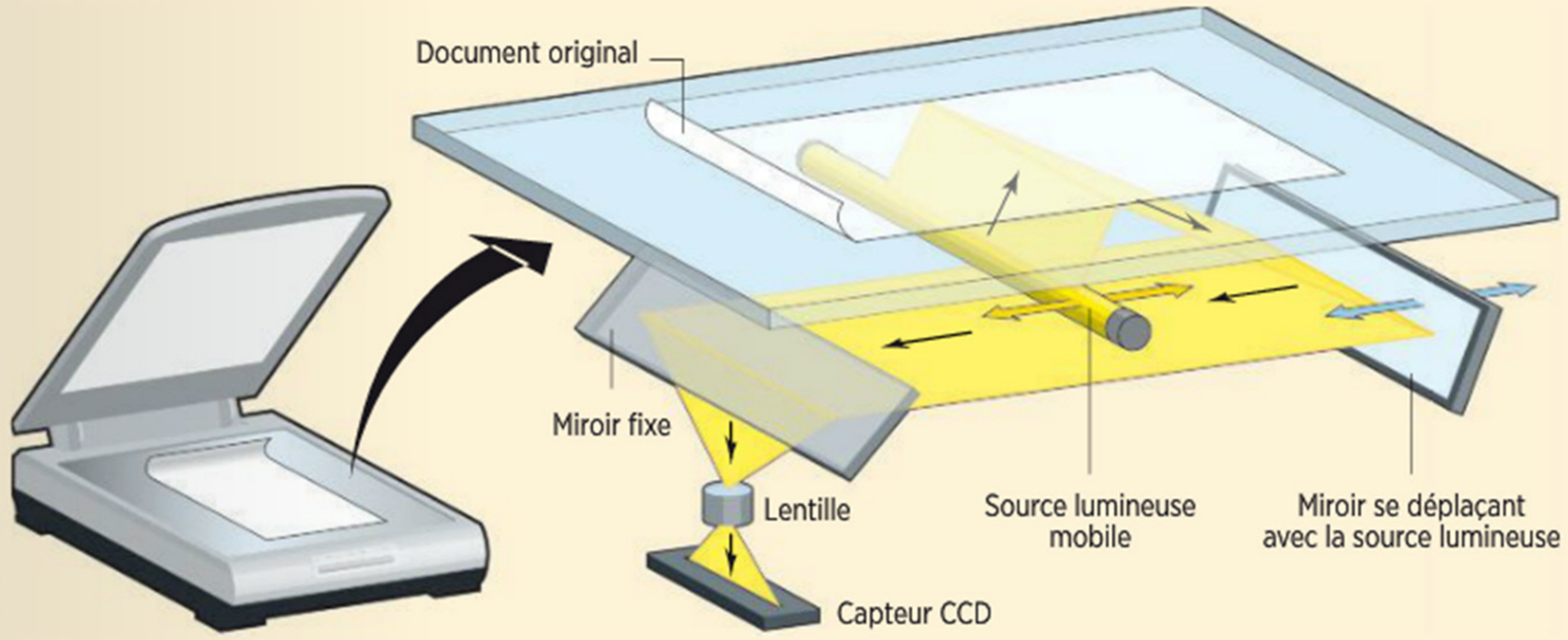
Banc d'essai pages suivantes ▶

LOGICIELS

L'OCR permet de modifier un texte scanné

Un scanner numérise une page de texte exactement comme s'il s'agissait d'une photo. Dès lors, ce document est « figé » : la seule possibilité de l'insérer dans un autre document issu d'un logiciel de traitement de texte est de le faire en tant qu'« illustration brute ». Les logiciels d'OCR (Optical Character Recognition, « reconnaissance optique de caractères ») permettent d'y remédier. Ils analysent le fichier de données délivré par le scanner pour en reconnaître chaque caractère, et transforment ainsi ce qui n'était qu'une image en une suite de caractères. Le résultat de cette conversion se présente sous forme d'un fichier identique à celui issu d'un logiciel de traitement de texte. Le document scanné pourra dès lors être modifié ou inséré dans le document. Cette fonction fait le succès des scanners « nomades » car elle permet d'insérer dans un document des extraits de citations scannées dans un livre, par exemple, sans avoir à les saisir au clavier.

Un balayage de lumière



Sous la vitre du scanner, une source lumineuse (tube fluorescent ou rangée de LED) se déplace et balaye ainsi toute la surface du document. Un jeu de miroirs réfléchit son image vers le capteur, une lentille assurant la focalisation. Il adopte la forme d'une barrette et analyse le document « ligne par ligne ». Un scanner est généralement très plat, ce qui permet de numériser quasiment sans recul, sans aberration optique ni déformation, ce qui serait difficile de faire à l'aide d'un système type appareil photo.

LES SCANNERS

	Canon Lide 120	HP Scan Jet 300	IRIScan Mouse Executive 2
Prix indicatif	69,99 €	76,22 €	79 €
Type	Scanner à plat	Scanner à plat	Souris-scanner
Résolution optique (1)	2400 x 4800 ppp	4800 x 4800 ppp	300 x 300 ppp
Capteur	Barrette CIS	Barrette CIS	Technologie Slam Scan
Source lumineuse	Barrette LED RVB	Barrette LED RVB	LED
Formats de documents	Jusqu'au A4 (216 x 297 mm)	Jusqu'au A4 (216 x 297 mm)	Jusqu'au A3
Vitesse	16 secondes pour un document A4 en 300 ppp	14 secondes pour un document A4 en 200 ppp	Non défini : balayage manuel de la zone à numériser
Profondeur	48 bits ou 24 bits	48 bits	Non précisé
Connexion	USB 2	USB 2	USB 2
Alimentation	Auto-alimenté par le port USB	Auto-alimenté par le port USB	Auto-alimenté par le port USB
Dimensions / poids	250 x 370 x 40 mm / 1,6 kg	373 x 274 x 44,5 mm / 1,76 kg	36 x 61 x 11 mm / 110 g
Les plus	Prix, simplicité d'utilisation	Prix, simplicité d'utilisation	Très faible encombrement, utilisation intuitive
L'avis SCIENCES ET AVENIR	Un scanner parfait pour numériser des tirages papier. Existe aussi en version LDE 220 avec résolution portée à 4800 x 4800 ppp et génération automatique de fichiers au format PDF.	Simple et efficace numériser tout document papier, le Scanjet 300 est livré accompagné de la suite logicielle PhotoStudio 6 pour retoucher, archiver et classer les photos.	Il suffit de promener cette souris sur une page pour que cette dernière apparaisse progressivement à l'écran. Idéal pour une utilisation en bibliothèque, connectée à un ordinateur portable.

	HP Scanjet G4050	Brother DS-820 W	Canon P-208II
Prix indicatif	199,67 €	229 €	239 €
Type	Scanner à plat	Scanner à défilement	Scanner à défilement
Résolution optique (1)	4800 x 4800 ppp	600 x 600 ppp	600 x 600 ppp
Capteur	Barrette CIS	Barrette CIS	2 lignes CMOS CIS
Source lumineuse	LED	LED	Barrette LED RVB
Formats de documents	Jusqu'à 216 x 311 mm et films jusqu'à 101 x 127 mm	Jusqu'à 216 x 812,8 mm	Jusqu'à 216 x 356 mm
Vitesse	28 secondes pour un document A4	8 secondes pour un document A4	10 s pour un document A4 en 300 ppp
Profondeur	96 bits	24 bits	24 bits
Connexion	USB2	USB 2, lecteur cartes SD, Wi-Fi	USB 2
Alimentation	Secteur 100 à 240 V 50/60 Hz	Auto alimenté par le port USB et batterie interne	Auto-alimenté par le port USB
Dimensions / poids	303 x 508 x 108 mm / 5,3 kg	308 x 52,5 x 40,7 mm / 440 g	312,5 x 56,5 x 40 mm / 600 g
Les plus	Scan des diapositives et négatifs, traitement des couleurs optimisé	Mémoire 2 Go extensible par carte SD, liaison Wi-Fi	Recto verso en un passage, bac chargeur 10 pages
L'avis SCIENCES ET AVENIR	Le G4050 met à contribution 6 couleurs de base au lieu de 3. Par ailleurs, un dispositif infrarouge prend en compte les rayures du film pour les éliminer ; un équipement « très orienté photo ».	Un équipement mobile qui peut numériser des documents partout. Il peut s'utiliser sans ordinateur grâce aux cartes SD. Le Wi-Fi permet un transfert sans fil des documents numérisés.	Son fonctionnement recto verso et son bac 10 feuilles facilitent la numérisation de documents multiples. De plus, des dimensions réduites permettent de le transporter facilement.

(1) ppp : points par pouce, équivalent de dpi : « dots per inch » en anglais. 300 ppp (résolution qualité photo) = 12 points par millimètre.

Epson
Perfection V39

89,99 €
Scanner à plat
4800 x 4800 ppp
Barrette CIS
Barrette LED RVB
Jusqu'au A4 (216 x 297 mm)
Non précisé
Non précisé
USB 2
Auto-alimenté par le port USB
Non précisé
Qualité de numérisation, capot amovible
Son couvercle amovible permet de scanner des livres épais. Il peut aussi numériser des formats supérieurs au A4 par plusieurs passes puis fusion automatique des images (nouveauté disponible à la mi-février).

IRIScan
Book Executive 3

129 €
Scanner à main
900 x 900 ppp
Barrette CIS
Barrette LED RVB
Jusqu'à 215 x 355 mm
4 secondes au minimum pour un document A4
Non précisé
USB 2, lecteur cartes Micro SD, Wi-Fi
4 piles alcalines AAA
26 x 257 x 31 mm / 205 g
Mémoire 2 Go extensible par carte Micro SD, liaison Wi-Fi
Totalement autonome, ce scanner manuel se glisse dans une poche. Il numérise des documents en tout lieu et les stocke sur une carte Micro SD. Connecté en Wi-Fi, il les transmet directement au « cloud ».

Fujitsu
ScanSnap iX100

274,99 €
Scanner à défilement
600 x 600 ppp
Barrette CIS
Barrette LED RVB
Jusqu'à 216 x 360 mm
5,2 secondes pour un document A4
Non précisé
USB 2
Auto-alimenté par le port USB et batterie interne
273 x 47,5 x 36 mm / 400 g
Batterie intégrée, transmetteur Wi-Fi
Malin, ce petit scanner numérise une feuillée A3, pliée en deux. Il reconstitue automatiquement l'image et pourra même l'envoyer directement sur le « cloud » grâce à sa liaison Wi-Fi.

Rollei
Pdf-S330 Pro

299,99 €
Scanner à diapositive
4032 x 2712 pixels (équivalent 2400 ppp sur film)
Capteur CMOS 9 mégapixels
LED blanches
Diapositives, films 24 x 36, 60 x 45 et 60 x 60, tirages 10 x 15
Non précisé
10 bits par couleur primaire
USB 2, lecteur cartes SD
Secteur 100 à 240 V 50/60 Hz
252 x 234 x 183 mm / 2,2 kg
Lecteur de cartes SD, sortie pour connecter un téléviseur
Un scanner destiné aux diapositives et aux films. Une fois connecté à un téléviseur, il devient le « projecteur de diapo » de l'ère numérique.

Buschnell Neo XS
Jamais perdu sur un green

La Neo XS de Buschnell est une montre destinée aux golfeurs. Sa mémoire contient les cartes de plus de 33 000 parcours dans le monde. Elle les identifie automatiquement et précise à tout instant au golfeur le nombre d'obstacles, la longueur du coup joué et la distance le séparant du trou.

199 €

YotaPhone YotaPhone 2
Double écran tactile

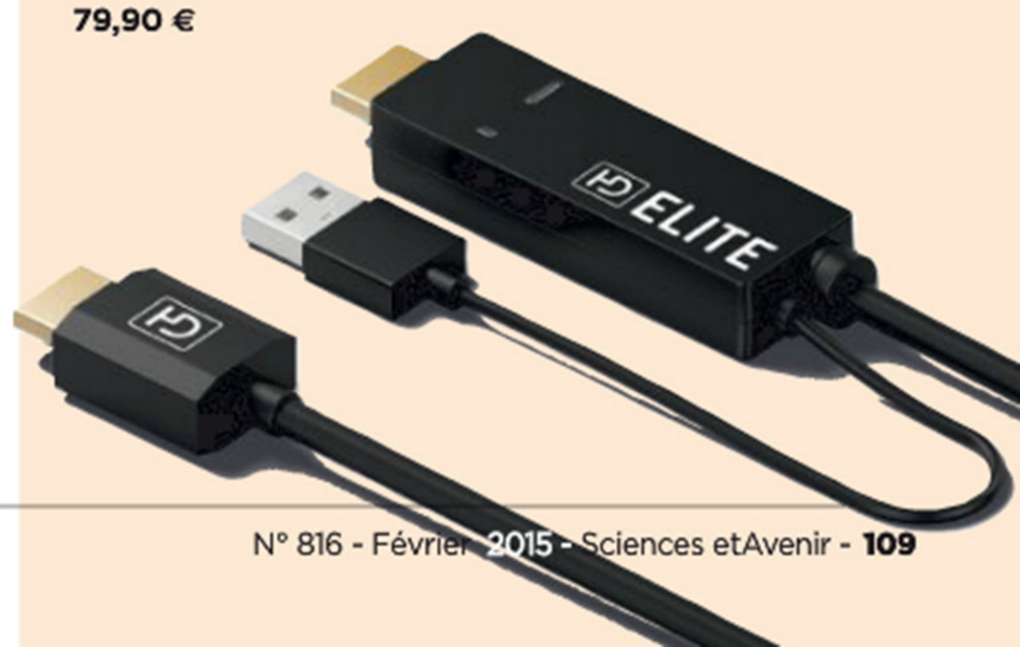
Ce smartphone du russe Yotaphone a une particularité : un écran tactile en façade, et un second écran en technologie e-Paper au dos. Avantage ? L'écran en encre électronique — comme celui d'une liseuse — ne consomme presque pas d'énergie : il permet de consulter ses notifications et applications même quand le téléphone est en veille, ou de lire un document sans consommer de batterie et donc sans pénaliser l'autonomie.

700 € environ

HD Elite Câble HDMI
Convertisseur vidéo ultra-haute définition

Le câble HDMI que propose HD Elite dispose d'un puissant processeur d'image intégré. Connecté entre un lecteur de Blu-ray et un téléviseur, il transforme la vidéo full HD du lecteur en format 4k ultra-HD dotée d'un piqué d'image exceptionnel.

79,90 €



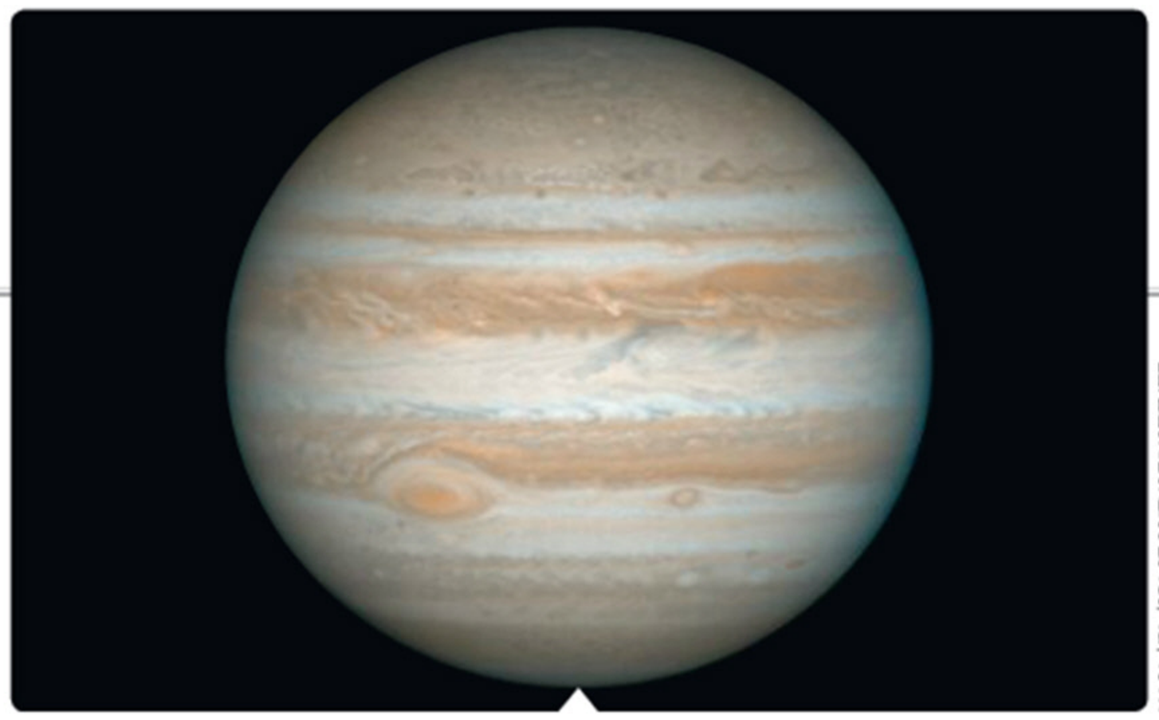
LE CIEL DE FÉVRIER

Par Johan Kieken

Où sont les planètes?

MERCURE
La petite planète atteint sa distance angulaire maximale à l'ouest du Soleil le 24, à près de 27° de celui-ci. Malheureusement, sous nos latitudes, l'écliptique est peu incliné sur l'horizon est le matin en cette saison, ce qui rend son observation très délicate. Au meilleur de sa période de visibilité, on ne trouve Mercure qu'à 5° de hauteur vers l'est-sud-est, une demi-heure avant le lever de l'astre du jour...

VÉNUS
Les semaines passant, l'étoile du Berger se trouve dans des conditions d'observation de moins en moins défavorables en soirée. Si en début de mois, elle se couche 2 h après notre étoile, c'est plus de 2 h 45 min après elle qu'elle passera sous l'horizon fin février. Au cours du mois, Vénus fond sur la planète Mars et la dépasse le 21. Ne manquez pas ce joli rapprochement figuré en bas de page!



NASA/JPL/SPACE SCIENCE INSTITUTE

Mosaïque de quatre photographies de la planète Jupiter, prises par la sonde Cassini en 2000.

Jupiter au meilleur de sa forme

LE 6 FÉVRIER, LA PLANÈTE GÉANTE PASSE À L'OPPOSITION. Cela signifie qu'en ce jour, le Soleil, la Terre et Jupiter sont alignés dans cet ordre. La planète géante se trouve donc actuellement dans les meilleures conditions d'observation de l'année, visible toute la nuit. Jupiter domine l'horizon sud d'une soixantaine de degrés vers 1 h du matin en milieu de mois. Elle est immanquable par son éclat qui dépasse celui de l'étoile la plus brillante du ciel nocturne, Sirius.

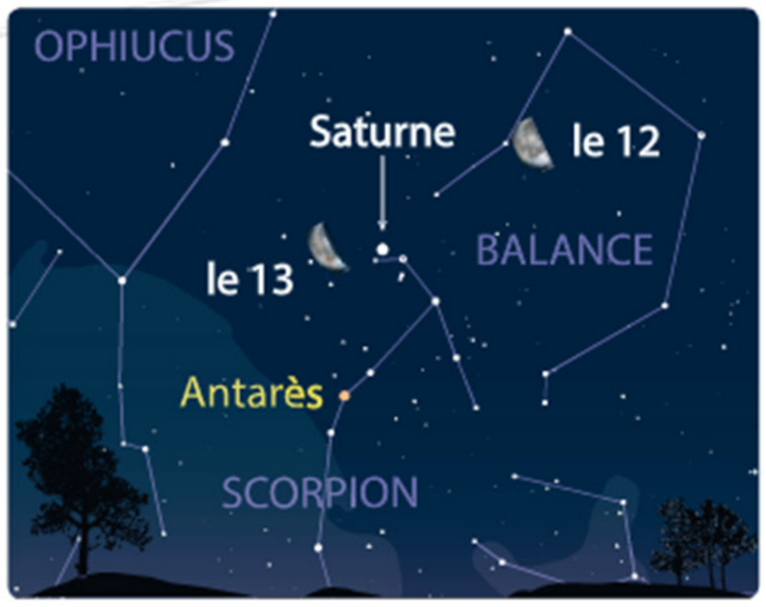
Notre conseil. À l'aide d'une paire de jumelles, vous pourrez voir ses quatre plus gros satellites sous la forme de petits points de part et d'autre de la planète. Comme Galilée il y a 400 ans, suivez leur ballet au fil des jours!

MARS
La planète Rouge est encore observable en soirée vers l'ouest-sud-ouest puis vers l'ouest, mais elle est irrémédiablement rattrapée par le Soleil. Dépêchez-vous de l'observer car l'arrivée du printemps marquera la fin — provisoire — d'une longue période de visibilité!

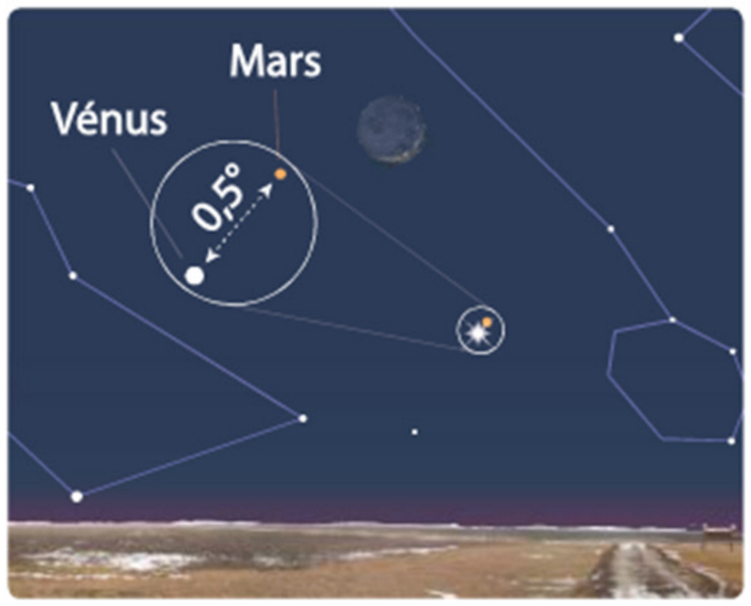
SATURNE
Située dans le Scorpion, la planète aux anneaux est visible en fin de nuit puis, le mois s'avançant, en seconde partie de nuit. Quand l'obscurité s'efface pour laisser place au jour, Saturne trône à une bonne vingtaine de degrés dans la direction du sud.

L'appli du mois

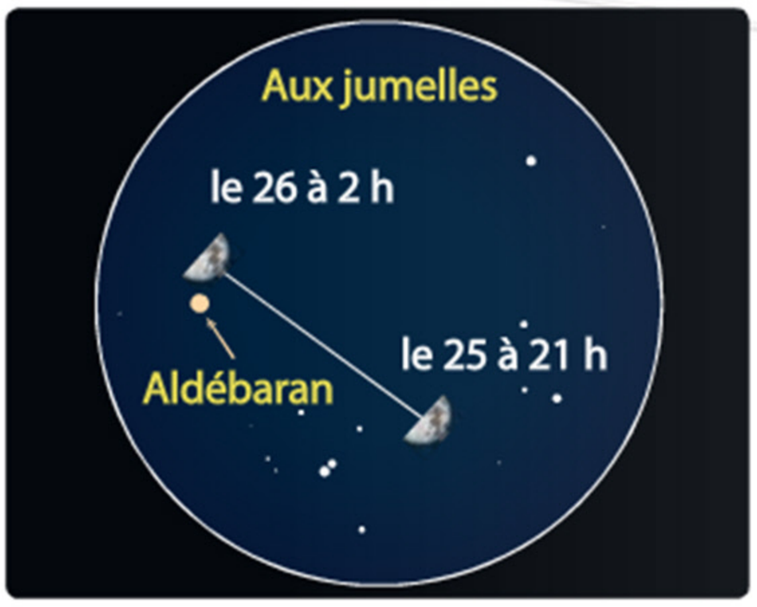
NASA App est une application gratuite en anglais (sous Android et iOS). Elle propose une revue détaillée des missions spatiales présentes et futures de la Nasa, des photos, vidéos et des documents pédagogiques, etc. Une application très fiable et extrêmement riche.



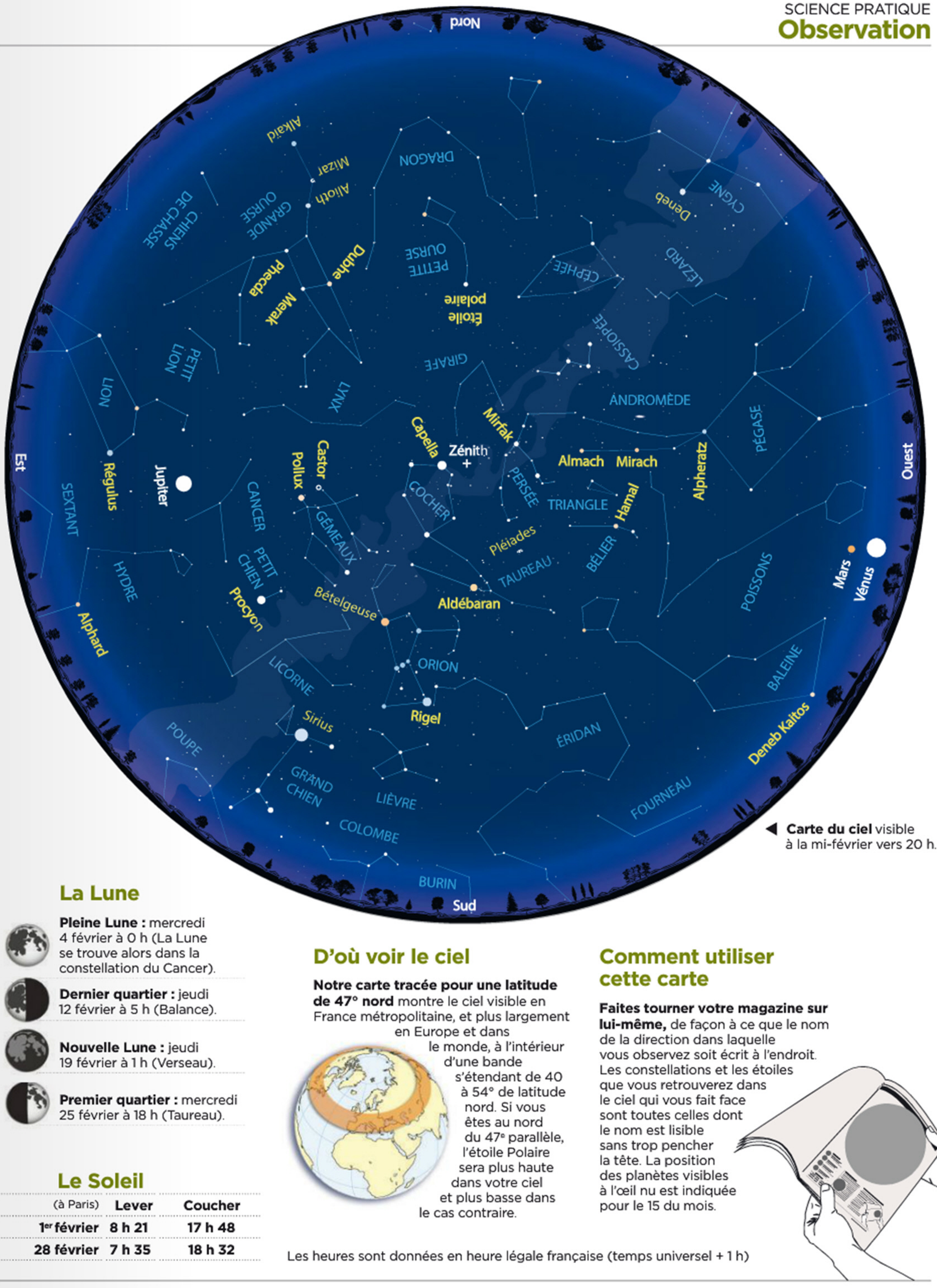
LE VENDREDI 13, EN FIN DE NUIT, COMME FIGURÉ ICI À 6 H, la Lune et la planète Saturne se donnent rendez-vous dans le Scorpion à une vingtaine de degrés de hauteur vers le sud-sud-est.



LE SAMEDI 21, UNE HEURE APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, le superbe rapprochement entre Vénus et Mars vers l'ouest aura pour témoin le premier croissant de Lune et sa lumière cendrée.



DANS LA NUIT DU 25 AU 26 FÉVRIER ET JUSQU'À SON COUCHER, la Lune en premier quartier se rapproche d'une étoile brillante et orangée, Aldébaran du Taureau.



◀ **Carte du ciel** visible à la mi-février vers 20 h.

La Lune

Pleine Lune : mercredi 4 février à 0 h (La Lune se trouve alors dans la constellation du Cancer).

Dernier quartier : jeudi 12 février à 5 h (Balance).

Nouvelle Lune : jeudi 19 février à 1 h (Verseau).

Premier quartier : mercredi 25 février à 18 h (Taureau).

Le Soleil

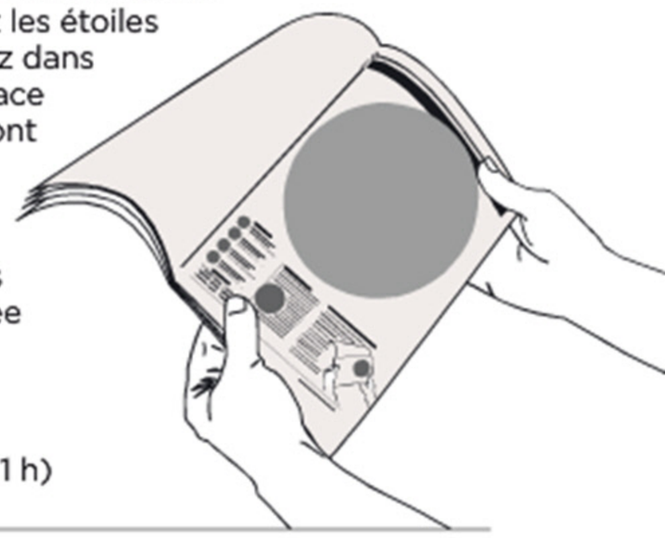
(à Paris)	Lever	Coucher
1er février	8 h 21	17 h 48
28 février	7 h 35	18 h 32

D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.

Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 1 h)

EXPOSITIONS

Bourges (18)

Photographies de nature 2014
Cent tirages sélectionnés parmi 41 000 photographies provenant de 96 pays par le muséum d'Histoire naturelle de Londres.
Muséum d'Histoire naturelle les Rives d'Auron (Parc expositions), allée Re jusqu'au 9 février. Rens. : 02.48.65.37.

Grenoble (38)

Confidences d'outre-tombe
Le Musée dauphinois, le Musée archéologique, la Casemate et l'Inrap croisent leurs regards pour montrer ce que cherchent les archéologues en exhumant les défunts des siècles passés : squelettes, techniques de fouilles, histoires des cimetières grenoblois, épitaphes.
Musée Dauphinois, 30. Gignoux, jusqu'au 31 Rens. : 04.57.58.89.0

Londres (Royau

The Institute of Sexolog
Une « exploration candide » de la sexualité humaine à travers 200 objets (créations artistiques, photographies, films et objets érotiques) racontant aussi l'histoire des pionniers de la sexologie.
Wellcome Collection, 18 Road, jusqu'au 20 sep Rens. : +44.(0)20.76.

Paris (75)

Mille et une orchide
L'Asie héberge dans ses mangroves, ses forêts ou ses falaises plus de 7000 espèces d'orchidées. Le Muséum en a sélectionné quelques-unes parmi les plus belles et les plus rares pour les montrer au cœur de la végétation luxuriante de la Grande Serre tropicale
Grandes Serres du Jardi Plantes, 57, rue Cuvier au 9 mars. Rens. : 01.

Grains de bâtisse
Une exposition sur de la construction « e grains » (graviers, sables, argiles), qui prend racine dans les découvertes de l'ESPCI et présente les recherches

Babouins ornant le socle de l'obélisque oriental du temple de Louqsor (règne de Ramsès II).

Lens (62) / Exposition

Des animaux et des pharaons

N'en déplaise à Cicéron, qui les pensait prêts à affronter les pires tortures *« plutôt que de porter une main sacrilège sur un ibis, un aspic, un chat, un chien ou un crocodile »*, les Égyptiens étaient loin d'être des zoolâtres, comme cela a pu être dit avant l'avènement de l'égyptologie scientifique. Le Louvre-Lens nous montre que si leurs représentations *puisaient dans un foisonnant* bestiaire de taureaux, lions, faucons, oursins crayons, scarabées bousiers, oryctéropes ou hippopotames, elles n'étaient pas fortuites. Chaque espèce s'inscrivait dans un discours religieux, symbolique ou politique fondé sur une observation fine de la nature. Ainsi, la gestuelle des babouins au lever du soleil, interprétée comme un hommage, explique leur place dans la théologie solaire. C'est ce lien si particulier unissant les Égyptiens au règne animal que l'on explore ici dans un parcours pédagogique et esthétique riche de 430 œuvres dont un tiers spécialement sorties des réserves du Louvre, et certaines jamais exposées.
De l'amulette délicate en forme de grenouille à la sculpture monumentale des babouins de l'obélisque de Louqsor (aux organes mâles jadis jugés choquants), en passant par le cercueil d'un serpent ou la momie d'un ibis, l'animal apparaît tour à tour comme denrée, moyen de transport, remède, objet de culte... Et bien sûr partie intégrante de l'écriture, puisque plus de 20 % des hiéroglyphes sont issus du répertoire animalier.

Figurine de grenouille en faïence (Nouvel Empire).

© MUSÉE DU LOUVRE, DIST. RMN-GRAND PALAIS

Laurent
Louvre-Lens, galerie de temporaires, 99, rue P jusqu'au 9 mars. Rens. : 03.21.18.62.62

tuelles de l'école dans la ompréhension de la
Espace des sciences de-Gennes, 10, rue jusqu'au 14 mars. Rens. : 01.40.79.58

Poitiers (86)

Le Groenland il y a 100 ans
En 1909, le géologue suisse Arnold Heim mène une expédition scientifique sur le de Disko et la péninsule Nuussuaq, au Groenland. ndant cette expédition, rend plus de 700 photos ont certaines ont été colorisées à la
Espace Mendès-Fr 1, place de la Cath jusqu'au 19 avril. Rens. : 05.49.50.3

Villeneuve-d'Ascq (59)

Mon dodo
Une exposition pour les 3-6 ans accompagnés pour découvrir à quoi sert le sommeil et le rôle des rêves.
Forum des sciences, centre François-Mitterrand, 1, p de l'Hôtel-de-Ville, jus novembre. Rens. : 03

CONFÉRENCES

Chambéry (73)

Transhumances, embouteillages : mathématiques du mouvement collectif
Par Didier Bresch, professeur, et Charlotte Perrin, doctorante au Laboratoire de mathématiques de l'université de Savoie.
Présidence de l'université Savoie-Mont-Blanc, ar Roger-Decottignies, le 24 février à 17 h Rens. : 04.79.75.91.

renoble (38)

éruption du volcan e Santorin au millénaire avant J.-C. et ses conséquences
Par René Treuil, professeur émérite de protohisto égéenne à l'univers Panthéon-Sorbon
Muséum, auditoriu Dolomieu, le 4 févr Rens. : 04.76.44.05.

Paris / Exposition

Trésors de la Terre

MNHN/DIRECTION-DES-COLLECTIONS

« Monocle et binocle », de la collection de Roger Caillois.

Les merveilles de notre planète sont rassemblées et présentées dans cette exposition qui allie les trésors de la terre et du ciel : les météorites côtoient les plus belles pièces minéralogiques de la collection du Muséum aux couleurs chatoyantes, comme les cristaux géants et les pierres ornementales, ainsi qu'un ensemble impressionnant de « pierres-paysages » de la collection de l'écrivain et sociologue Roger Caillois, décédé en 1978. Ces minéraux, qui ont cristallisé ou se sont dissous, prennent des formes surprenantes faisant apparaître fantômes ou binocles *(voir photo)*. À voir. **A. Kh.**

Muséum national d'histoire naturelle, galerie de Minéralogie, 36, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, jusqu'à fin 2017. Rens. : 01.40.79.30.00.

Nantes (44)

De l'aube de l'Univers vers l'éternité
Par Joe Silk, professeur à l'université d'Oxford (Royaume-Uni) et chercheur à l'Institut d'astrophysique de Paris.
Salle le Bretagne, 23, [illegible] Mareuil, le 27 février. Rens. : 02.40.68.91.

Paris (75)

Quel modèle cosmologique ?
Conférences proposées par l'Académie de l'air et de l'espace avec la participation de Jean-Pierre Luminet, astrophysicien au Laboratoire d'astrophysique de Marseille et à l'observatoire de Paris, Alain Riazuelo, chargé de recherche à l'Institut d'astrophysique de Paris et Jean-Philippe Uzan, astrophysicien à l'Institut d'astrophysique de Paris et à l'institut Henri-Poincaré (CNRS-UMPC).
Palais de la Découverte, avenue Franklin-Ro[illegible], le 5 février à 14 h. Rens. : 01.56.43.2[illegible]

Des univers multiples. À l'aube d'une nouvelle cosmologie
Par Aurélien Barrau, professeur à l'université Joseph-Fourier (Grenoble), chercheur au Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie du CNRS-université de Grenoble-Alpes.
Musée des Arts et Métiers, amphithéâtre Abbé-G[illegible], le 5 février à 18 h 3[illegible]. Rens. : musee-cor[illegible]

Journée A[illegible]
Conférence publique de l'Académie des sciences en hommage à la biologiste Marianne Grunberg-[illegible]
Institut de France, [illegible] des Séances, le 10 [illegible]. Rens. : 01.44.41.43[illegible]

Vers des neuros[illegible] collaboratives
Par Sean Hill, professeur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et codirecteur du Human Brain Project
Cité des Sciences et d[illegible], 30, avenue Corentin [illegible], le 10 février à 19 h. Rens. : 01.40.05.80[illegible]

Les objets conne[illegible] une 3e révolution n[illegible]
Trois tables rondes proposées par l'Académie des technologies sur les opportunités et les enjeux socio-économiques, éthiques et juridiques des objets connectés.
Cité des Sciences et [illegible], 30, avenue Corenti[illegible], le 11 février à 18 h. Rens. : 01.40.05.8[illegible]

De Poincaré à Pe[illegible] une épopée mathé[illegible] du XXe siècle
Conférence du cycle « Un texte, un mathématicien », par Gérard Besson, directeur de recherche au CNRS et directeur de l'institut Fourier, laboratoire de mathématiques fondamentales de l'université de Grenoble-Alpes.
Bibliothèque Françoi[illegible], Grand Auditorium, [illegible]uai François-Mau[illegible], 11 février à 18 h 3[illegible]. Rens. : 01.53.79.59.[illegible]

Pleumeur-Bodou (22)

Effet Placebo et médicaments
Par Dominique Baron, médecin au centre hospitalier de Lannion-Trestel.
ArmorScience, pôle P[illegible] du Radôme, le 13 fé[illegible]. Rens. : 02.96.46.60[illegible]

Poitiers (86)

Sport et sommeil
Par Xavier Drouot, professeur au service de neurophysiologie clinique et au centre du sommeil du CHU de Poitiers.
Campus de l'université de Poitiers, [illegible]mphi A - bât B8 scienc[illegible] naturelles, 40, avenue [illegible] Pineau, le 12 février [illegible]. Rens. : 05.49.50.33.[illegible]

Rennes (35)

L'origine et l'essor des fourmis
Par Vincent Perrichot, paléontologue dans l'équipe « Biodiversité : interactions, préservation, évolution » du laboratoire Géosciences à Rennes.
Espace des sciences, [illegible] libres, 10, cours des [illegible], le 17 février à 20 h [illegible]. Rens. : 02.23.40.66.[illegible]

Vaulx-en-Velin ([illegible])

Les premières lueurs de l'Univers
Par François Bouchet, directeur de recherche au CNRS et responsable de l'inst[illegible] scientifique HFI su[illegible] le satellite Planc[illegible]
Planétarium, place [illegible], le 26 février à 20 [illegible]. Rens. : 04.78.79.50[illegible]

Paris / Exposition

Grains de génie, expo-manip'

Le tas de sable est une source de problèmes de physique redoutables sur lesquels les plus éminents spécialistes se cassent toujours les dents. Des problèmes que les enfants ont, sans le savoir, expérimentés dans le bac à sable ou à la plage. Cette petite exposition est donc parfaite pour les aider à se rendre compte qu'ils sont déjà des graines de physiciens ! Et — bonne nouvelle pour les parents —, le parcours n'inclut pas de roulades dans le sable... Car les six manipulations se passent dans des boîtes fermées, toujours accompagnées d'explications sur l'implication de cet élément dans notre quotidien, qu'il s'agisse de matériaux de construc[illegible] de grains de blé. **M.[illegible]**

H.LEVY-EPOCSI

Palais de la Découver[illegible] Franklin-Roosevelt, ju[illegible]. Rens. : 01.56.43.20.20.[illegible]

L'INFO SCIENTIFIQUE EN CONTINU
sciencesetavenir.fr
DISPONIBLE SUR IPHONE/ IPAD, ANDROID ET TOUS LES SMARTPHONES

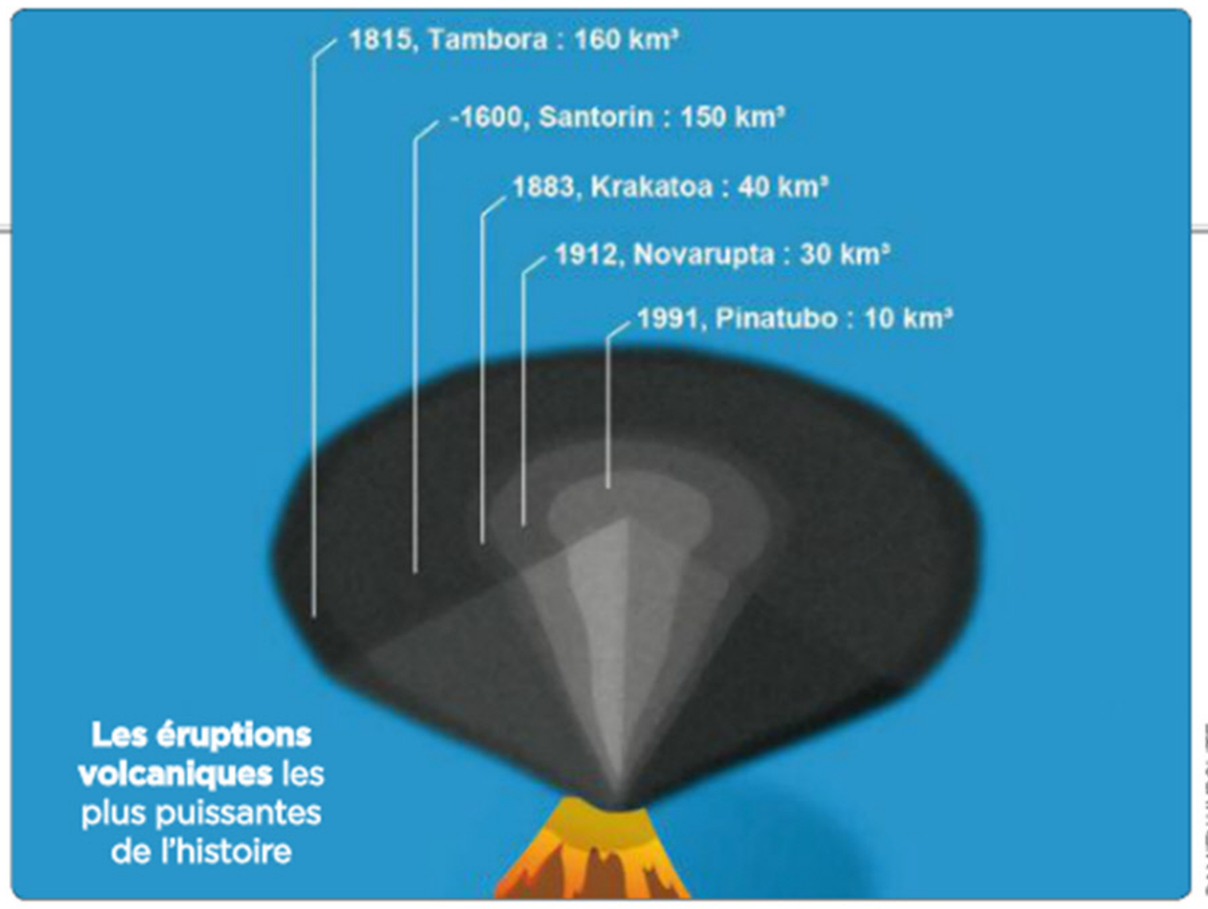
TENDANCE 2.0

Appli. Tout *Sciences et Avenir* au creux de la main : notre nouvelle appli vient de sortir sur l'App store comme sur le Google Play d'Android. Une version gratuite, plus fluide, qui met en avant tous les contenus de notre site Internet — un site relayant quotidiennement l'info des sciences, traitée par la rédaction bimédia du journal. Au programme des articles, des reportages vidéo, des diaporamas,

ISOPIX/SIPA

des infographies fixes ou animées. Quant à notre magazine, il est évidemment toujours disponible sur support électronique, les internautes pouvant télécharger les PDF (enrichis de contenus numériques) reproduisant page par page le journal pour le lire sur mobile. tablette ou ordina

www.sciencese
mobile.php



Les éruptions volcaniques les plus puissantes de l'histoire

DAMIEN HYPOLITE

Que dit la science sur les dix plaies d'Égypte ?

INFOGRAPHIE. À l'occasion de la sortie d'*Exodus*, le film de Ridley Scott, *S. et A.* s'est interrogé : les fléaux d'Égypte auraient-ils pu être inspirés par des faits réels ? L'éruption de Santorin pourrait avoir donné naissance à de tels cataclysmes et servi de ferment au mythe. Situé à 800 km à vol d'oiseau du pays des pharaons, ce volcan de la mer Égée est entré en éruption entre 1650 et 1600 avant notre ère avec la puissance d'environ 40 bombes atomiques : en deux jours, quelque 150 km³ de matières ont été expulsés à 30 km d'altitude. U ent dont les conséquences ont été ressenties bords du Nil...

tp://sciav.fr/816Egyp

LES ARTICLES LES PLUS LUS

L'ALIGNEMENT DES QUASARS

Espace. L'axe de rotation de ces trous noirs supermassifs serait aligné grandes cosmiqu
http://s
fr/816Q

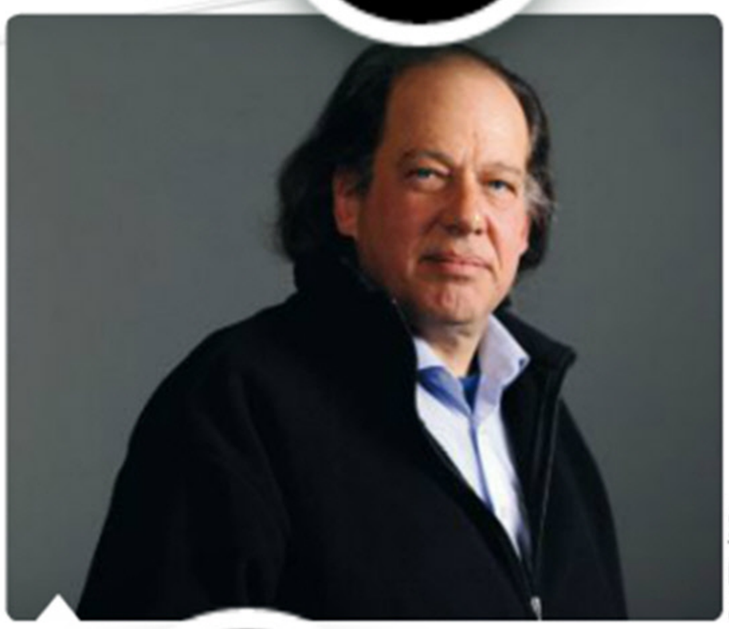
LE BIDE L'ANACON

Animaux. L'Américain Paul Rosolie prétendait se laisser manger vivant par un serpent pour les besoins d'une émission de Dis Channel. Aut faux buzz.
http://sciav

QU'EST LA DEVENUE

Santé. Si un ré est efficace, on perd une certaine masse de graisse. Mais sait-on où elle va ? Une réponse loin d'être évidente même pour le diététiciens
http://sciav
fr/816Grais

RETROUVEZ-NOUS SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX



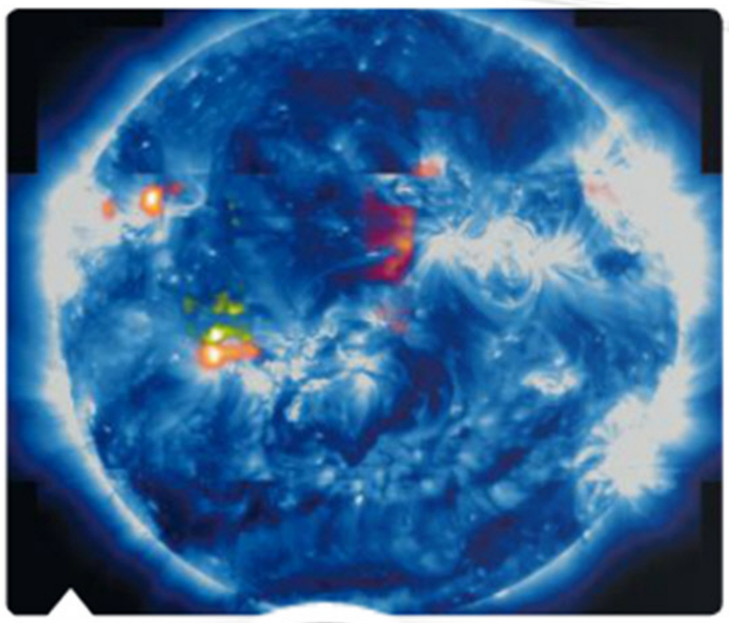
BALTEL/SIPA

VIDÉO DE AMEISEN

Le mé ur en biologie, prési nsultatif national d'éth ordé une interview à *S. et* /sciav.fr/816Ameisen

O. LASCAR

BLOG DES ciav.fr/olascar



BROOKS ET AL., NATURE COMMUNICATIONS

IMAGE ÉCL LE VENT SOLAIRE

Une nouv révèle les sources p olaire, ce flux de particules rores boréales sur Terre. /sciav.fr/816Soleil

SANILife

Des salles de bains accessibles à tous

Avec Sanilife, ne vous adaptez plus à votre salle de bains, elle s'adapte à vous !
Découvrez une gamme de produits sanitaires, innovante au design moderne et esthétique.

Nos solutions produits

TRAYMATIC

• Des receveurs plats avec pompe, sans contrainte d'évacuation gravitaire

SANIMATIC LAVABO

• Un lavabo à portée de mains en quelques secondes

SANIDOOR

• Une douche idéale pour l'aide à la toilette

SANIDUO

• Concept bain-douche.
Installation pratique et esthétique

Sanilife est acteur de la Silver Economie

ACTEUR DE LA SILVER ECO

Retrouvez toutes les informations sur notre site
www.sanilife.fr

SFA

Mutuelle soumise aux dispositions du livre II du Code de la mutualité, n° Siren 538 518 473. HEREZIE

Prévention • Complémentaire santé • Garantie dépendance

Perte d'autonomie, dépendance... Pour répondre à vos préoccupations, Harmonie Mutuelle vous propose des solutions de prévoyance et une complémentaire santé adaptées à vos besoins. Bénéficiez aussi d'actions de prévention et de services personnalisés (aide à domicile, assistance téléphonique 7j/7, etc.). Spécialiste de la santé, Harmonie Mutuelle vous accompagne à chaque étape de votre vie.

MUTUALITÉ FRANÇAISE **Harmonie Mutuelle, 1re mutuelle santé de France.**

Harmonie mutuelle

En harmonie avec votre santé

harmonie-mutuelle.fr